

CIES-PIES 14

INSTITUTO
LATINOAMERICANO
DEL FIERRO Y EL ACERO

Memoria
del Octavo Congreso
Latinoamericano de Siderurgia

realizado por el Instituto Latinoamericano del Fierro y el Acero

LIMA, Perú - 1968

ILAF



Instituto Latinoamericano del Fierro y el Acero - ILAFA
Secretaría General: Moneda 1140 - Casilla Postal 14303 - Santiago, Chile
Impreso en Chile por Imprenta Mueller. Printed in Chile 1969

Memoria del Octavo Congreso Latinoamericano de Siderurgia

realizado por
el Instituto Latinoamericano del Fierro y el Acero
en Lima, Perú, 1968



Indice

Introducción

Lista de Participantes

SESION INAUGURAL

Comentario introductorio	SI
Discurso del Sr. Alcalde de Lima, Dr. Luis Bedoya	SIa
Discurso del Presidente de la Comisión Organizadora, Ing. Hernando Arciniega	SIb
Discurso del Presidente de ILAFA, Tte. Gral. Pedro F. Castiñeiras	SIc
Discurso de S. E. el Presidente de la República del Perú, Arq. Fernando Belaúnde Terry	SId

CONFERENCIAS ECONOMICAS Y CIENTIFICAS

Comentario introductorio	C
LA SITUACION MUNDIAL DEL ACERO Y LA CREACION DEL IISI por el Dr. Charles B. Baker	Ca
RESPONSABILIDAD DE ILAFA FRENTE AL PORVENIR DE LA INDUSTRIA LATINOAMERICANA por el Dr. Alberto Sommaruga	Cb
LA TEORIA METALURGICA Y SU APLICACION EN TECNOLOGIA por el Prof. Sven Eketorp	Cc
NECESIDADES Y POSIBILIDADES DE INVESTIGACION TECNOLOGICA EN AMERICA LATINA por el Dr. Jorge Sábato	Cd
Síntesis de los debates de la sesión	Ce

LA UTILIZACION DE MINERALES PRE-REDUCIDOS EN LA ELABORACION DE ACEROS EN HORNO ELECTRICO	
por los Ings. J. Antoine, N. Paquel y J. Dumont-Fillon	T3c
Síntesis de los debates de la sesión	T3d

SESION TECNICA

Temas varios

Comentario introductorio	TV
LA PRODUCCION DE ENERGIA EN LAS PLANTAS SIDERURGICAS INTEGRADAS, TOMANDO EN CUENTA LAS CONDICIONES LATINOAMERICANAS	
por el Dr. Hans Weineck	TVa
PROPIEDADES DE LOS MATERIALES QUE FORMAN LA CARGA DEL HORNO ALTO	
por el Dr. Fermín Juan Asensio Gonzalo	TVb
PUESTA EN MARCHA Y OPERACION DE LA MAQUINA DE COLADA CONTINUA DE LA SOCIEDAD SIDERURGICA DE CHIMBOTE S. A. (SOGESA)	
por los Ings. Carlos Beingolea y Jobst Wasmuht	TVc
ACEROS PARA HERRAMIENTAS: SU FABRICACION, SUS PROPIEDADES Y SU IMPORTANCIA PRACTICA	
por el Dr. Werner Krebs	TVd
EMPLEO DE ACEROS ESPECIALES EN UN CENTRO DE INVESTIGACIONES METALURGICAS	
por el Dr. Ing. Franco Cepolina y el Sr. Franco Federici	TVe
Síntesis de los debates de la sesión	TVf

SESION DE CLAUSURA

Comentario introductorio	SC
Informe anual de la Secretaría de ILAFA	SCa
Discursos de salutación	SCb
Discurso del Presidente de ILAFA	SCc

INTRODUCCION

Un nuevo Congreso Latinoamericano de Siderurgia y una nueva Asamblea General de Socios de ILAFA tuvieron lugar el 16 y el 19 de septiembre de 1968. Escenario de ambos eventos, que anualmente organiza el Instituto Latinoamericano del Fierro y el Acero, fue la ciudad de Lima, República del Perú.

Como en ocasiones anteriores, se ofrece en este volumen un relato completo del VIII Congreso Latinoamericano de Siderurgia, en forma tal que los asistentes al torneo tienen la posibilidad de recordarlo paso a paso, y aquellos que no pudieron participar del mismo en esta ocasión, pueden vivir las alternativas de su desarrollo, perdiendo, sí, el goce de las exquisitas atenciones que brindaron los anfitriones peruanos.

El orden en que fue desenvolviéndose el Congreso se respeta en esta Memoria, por cuya razón se han estructurado los siguientes capítulos correlativos:

—Sesión Inaugural

—Conferencias Económicas y Científicas

—Sesión Técnica Tema 1 — “El acero para la construcción civil y mecánica”

a) el acero de las obras civiles;

b) el acero de la construcción mecánica

—Sesión Técnica Tema 2 — “La aglomeración de minerales de fierro”

a) sinterización;

b) peletización

—Sesión Técnica Tema 3 — “La acería eléctrica”

—Sesión Temas Varios

—Sesión de Clausura.

El Directorio y la Secretaría General del Instituto deben, una vez más, agradecer la brillante participación de los expositores; la gentil acogida de los temas por los asistentes, las atenciones y eficiencia de las comisiones organizadora y de damas peruanas, y a todo el personal local que permitió llevar esta reunión a un alto nivel de categoría, del que ILAFA se enorgullece.

Participantes en la IX Asamblea General de ILAFA y en su VIII Congreso Latinoamericano de Siderurgia

Lima, Perú. 16 al 19 de septiembre de 1968.

COMISION DE HONOR

Excelentísimo señor Presidente de la República, Arquitecto Fernando Belaúnde Terry
Señor Ministro de Relaciones Exteriores
Señor Ministro de Fomento y Obras Públicas
Señor Ministro de Hacienda y Comercio
Señor Alcalde de Lima
Señor Presidente del Directorio de SOGESA.

COMISION ORGANIZADORA PERUANA

Presidente:

Ing. Hernando Arciniega (Director Gerente General de Sociedad Siderúrgica de Chimbote, S.A.)

Vicepresidente:

Dr. Enrique East Alvarez Calderón (Vicepresidente y Consejero Legal de Marcona Mining Company)

Vocales:

Señor Kurt Meyer (Industria Nacional de Productos del Acero, S.A. PRODAC)
Señor Iván Lukac (Industria Peruana del Alambre, S. A. ALAMBRESA)
Señor Dante Marsano (Fundición Callao)
Señor Renato Hildebrand (Consorcio Metalúrgico S.A. COMESA)
Señor Eduardo Dibós (Electrometalúrgica Nacional, S.A. ENSA)
Secretario Ejecutivo de la Comisión Organizadora:
Dr. Alberto V. Sommaruga (SOGESA).

MIEMBROS DEL DIRECTORIO DE ILAFA

Presidente:

Pedro F. Castiñeiras, Presidente de SOMISA, Argentina

Vicepresidente:

Ing. David Appel, Presidente de INLASA, Uruguay

Directores integrantes del Comité Ejecutivo:

Ing. Camilo G. Sada, Presidente de HYLSA, México

Directores titulares:

Enrique A. Dupont, Presidente de Establecimientos Metalúrgicos Santa Rosa, Argentina

Argenis Gamboa, Presidente de SIDOR, Venezuela

René Barbis, Gerente Técnico de SOGESA, Perú

Dr. Paulo M. Bohomoletz, Director de CVRD, Brasil

Ing. Fernando Aguirre Tupper, Presidente de CAP, Chile

Miembro Honorario

ROCHE, John P., (American Iron and Steel Institute)

SECRETARIA GENERAL DE ILAFA

GOMEZ, Aníbal, (Secretario General)
DUCREY, Marcelo (Coordinador General)
CANGUILHEM, Héctor (Asesor Técnico)
BOHOMOLETZ, Miguel de Lima (Jefe Depto. Técnico)
MARCHAN, Cornelio (Jefe Depto. Estudios Económicos)
EDWARDS, Hernán (Jefe de Promoción)

Secretarios Regionales de ILAFA

LLORENS, Emilio (Secretario Regional para Argentina)
RATMIROFF, Sergio (Secretario Regional para Venezuela)

ORGANISMOS INTERNACIONALES

BAKER, Charles B. (International Iron and Steel Institute)
BAYONA JIMENEZ, Rafael (Federación Internacional de Trabajadores de las Industrias Metalúrgicas — FITIM)
CONTRERAS LARRAZABAL, Gonzalo (B.I.D.)
LEUSCHNER, Bruno (ONUDI-CEPAL)
RENNER, Wolfgang (Comisión de las Comunidades Europeas)

Alemania

AHLERS, Orwin (Ferrostaal A.G.)
BELL, Walter (Fried Krupp GmbH Industriebau und Maschinenfabriken)
BROSER, Rudolf (Fried Krupp GmbH Industriebau und Maschinenfabriken)
DORNENBURG, Jochen (Ferrostaal A.G.)
GEBHARDT, Karl H. (Ferrostaal A.G.)
HOWALDT, Richard (Man Ferrostaal)
KONIG, Hans Jochen (Lurgi Gesellschaft für Chemie und Hüttenwesen mbH)
OTTMAR, Heinrich (Rohrenwerke Bous Saar, GmbH)
SOHN, G. (Ferro Consulting GmbH)
TREPTOW, Dr. Ing. Karl Heinz (Verein Deutscher Eisenhüttenleute VDEh)
WATZDORF, Vollrat von (Ferrostaal A.G.)
WEBER, Josef (Man Ferrostaal A.G. Bauunion)
WEINECK, Hans (Ferrostaal A.G.)

Arabia Saudita

FAISAL, H.R.H.P. Saad Bin (The General Petroleum & Mineral Organization PETROMIN)
HAMDAN, Sulaiman A. (The General Petroleum & Mineral Organization — PETROMIN)

Argentina

ABRIL, Eduardo R. (Ika Renault)
AGUSTIN, Carlos Alberto (Dirección General Fabricaciones Militares — Sociedad Argentina de Metales)
BONTA, Ernesto Eduardo (Dirección General Fabricaciones Militares)
BRIL, Natalio (Pittsburgh & Cardiff Coal Co.)
CAMPBELL, Juan (Mellor Goodwin S.A.C.)
CASTIÑEIRAS, Gral Pedro F. (Sociedad Mixta Siderurgia Argentina — SOMISA)
COELHO, Héctor Arturo (Dirección General Fabricaciones Militares)
CORDOBA, Marcelo Juan (Soc. Mixta Siderurgia Argentina — SOMISA)
CORDOVA, Germán de (Sociedad Mixta Siderurgia Argentina — SOMISA)
CURA, Jorge Enrique (Cura Hermanos S.A.I.C. y F.)

DUPONT, Enrique A. (Establecimientos Metalúrgicos Santa Rosa S.A.)
 ETCHEBEHERE, Héctor (General Electric Argentina S. A.)
 FERRI, Eduardo Héctor (Cura Hnos. S.A.I.C. y F.)
 FORTUNY, Julio (Centro Laminadores Industriales Metalúrgicos Argentinos)
 FORTUNY, Rubén (Centro Laminadores Industriales Metalúrgicos Argentinos)
 GARCIA BELSUNCE, Horacio Adolfo (ACINDAR — Industria Argentina de Aceros S.A.)
 GIADOROU, Mario (Dalmine Siderca S.A.)
 GRAU, Horacio Alberto (Dirección General Fabricaciones Militares)
 HEY, Alfredo Martin (Comisión Nacional Energía Atómica — C.N.E.A.)
 KREBS, Werner (Marathon Argentina S. A.)
 LINDSTROEM, Edmondo (Propulsora Siderúrgica A.C.I.)
 MARINESCO, Alejandro Hugo (Metalúrgica Constitución S.A.)
 MAROTO, Washington Carlos (Centro Laminadores Industriales Metalúrgicos Argentinos — CLIMA)
 MARTINEZ DE HOZ, José Alfredo (ACINDAR — Industria Argentina de Aceros S.A.)
 MARTINEZ VIDAL, Carlos (Comisión Nacional Energía Atómica — C.N.E.A.)
 MATTI, Carlos Horacio (Sociedad Mixta Siderurgia Argentina — SOMISA)
 MAUMUS, Juan César (Sociedad Mixta Siderurgia Argentina — SOMISA)
 MONTU, Julio J. (Gurmendi S.A.)
 NEGRO, Alfredo A. (Centro Laminadores Industriales Metalúrgicos Argentinos — CLIMA)
 OERTEL, Wolfgang (Marathon Argentina S.A.)
 PAOLETTI, Emilio (Techint Engineering Co.)
 PEPINO, Julio A. (Sociedad Mixta Siderurgia Argentina — SOMISA)
 PETROCELLI, Domingo (Centro Laminadores Industriales Metalúrgicos Argentinos — CLIMA)
 PRADA LOPEZ, Dr. (Sociedad Mixta Siderurgia Argentina — SOMISA)
 ROSATI, Santo (Centro Laminadores Industriales Metalúrgicos Argentinos — CLIMA)
 SCARPATI, Juan (Sociedad Mixta Siderurgia Argentina — SOMISA y TAMEL)
 SILVEYRA, Luis Carlos (Centro de Industriales Siderúrgicos — CIS)
 TESTA, Ilario (Dalmine Siderca S.A.I.C.)
 VILLALBA, Miguel (Gurmendi S.A.)
 WELTER, Ing. Julio J. (Talleres Metalúrgicos San Martín — TAMEL)

Austria

BUSCHMANN, Dr. E. (Vereinigte Österreichische Eisen u. Stahlwerke — VOEST)
 KLEPP, F. (BOT. Brassert Oxygen Technik A.G.)
 SCHNEIDER, K. (Vereinigte Österreichische Eisen u. Stahlwerke A.G. — VOEST)

Bélgica

BRAGARD, Adolphe (C.N.R.M.)
 NOEL, Roger (Consejero Ministro Comercio Exterior)
 REUTER, Edgar (C.N.R.M.)

Brasil

BOHOMOLETZ, Paulo Miguel (Cía. Vale do Rio Doce)
 CORRADI, Giuseppe (Sociedade Comercial Transportes Transatlânticos S.A.)
 DAVIDSON, John Alexander (Arthur Mc Kee & Co. do Brasil Ltda.)
 HENRIQUES, Humberto Hardman Parreiras (Aços Villares S.A.)

KESSLER, Gerhard (Mannesmann do Brasil)
 LACERDA, José Machado (Aluminio Minas Gerais S.A.)
 LORENZI, Mario (Sociedade Comercial Transportes Transatlânticos S.A.)
 MÖRATH, Werner (Mineração Serra do Curral S.A. — Grupo Mannesmann)
 SCHMITT, Heinz Günter (Mineração Serra do Curral S.A. Grupo Mannesmann)
 SIMONSEN, W. L. (Kaiser Engenharia e Construções Ltd.)
 WOLFF, Arthur (Morro do Niquel S.A.)
 ZANUSO, Giulio (Sociedade Comercial Transportes Transatlânticos S.A.)

Canadá

GERTSMAN, Sol. L. (Government of Canada — Dept. Energy, Mines & Resources)
 TOMPKINS, B. H. (Wright Engineers Ltd.)

Colombia

RANGEL, Arturo (Acerías Paz del Río)
 VILLEGAS, Diego (Empresa Siderúrgica S.A.)

Chile

AGUIRRE TUPPER, Fernando (Cía. Acero del Pacífico S.A.)
 GANA B., Eduardo (Instituto Chileno del Acero)
 HAMEAU, Raúl (COMPAC)
 PALACIOS, Daniel (Cía. Acero del Pacífico S.A.)
 PEREZ ESCOBILLANA, Sergio (Cía. Acero del Pacífico S.A.)
 PETERSEN Jr., Edmund F. (Bethlehem Chile Iron Mines Co.)
 PULGAR GALLARDO, Alvaro (Cía. Acero del Pacífico S.A.)
 SCHACHT ZAPATA, Alfredo (Cía. Acero del Pacífico S.A.)
 STRAUSSER, Jorge (Cía. Acero del Pacífico S.A.)
 URZUA GABLER, Heriberto (Cía. Acero del Pacífico S.A.)

España

ASENSIO, Fermín (Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas — CENIM)
 CANCER, Mariano (UNESID)

Estados Unidos

ABRAHAM, Geoffrey (Dolomite Brick Corp.)
 AGOSIN, Manuel (Koppers Co. Inc.)
 ARONOFF, Phillip A. (Steelmet, Inc.)
 BLANCO, Carlos F.A. (Obenchain Corporation International)
 BOETZELEN, Hans G. (Brown Brothers Contractors Inc.)
 BORTHAYRE, Phillipe (Armco Steel Corp.)
 BOVARNICK, Arthur H. (Great Lakes Carbon Corp.)
 BROWN, J.M. (Union Carbide Corp.)
 BURGER, Walter M. (Continental Ore Corp.)
 BURNETT, Howard J. (Koppers Co. Inc.)
 BURNS, Robert S. (Armco Steel Corp.)
 CHANG, Melvin C. (Dravo Corporation)
 CIOTTI, John (Lectromelt Corporation)
 COPPERSMITH, Earl W. (Brown Brothers Contractors Inc.)
 COX Jr., Gordon L. (Koppers Co. Inc.)
 DINNEEN, Hayward (Rust Furnace Co.)
 DORWARD, L. H. (The J. E. Baker Co.)
 DOWLING, Arthur L. (Swindell Dressler Co.)
 ELLERMANN, Henry C. (Blaw-Knox Cox.)
 ELLMAN, Walter E. (Rust Furnace Co.)
 GALLOWAY, R. M. (Dravo Corporation)
 GOLSON, Charles E. (Arthur G. McKee & Co.)
 GUTTMANN, H. Peter (Stanley Consultants)

HANLEY, S. A. (Arthur G. McKee & Co.)
 HEINEMANN, Robert (Westinghouse Electric)
 HORNBAKER, R. W. (Koppers Co. Inc.)
 ENGEL, Edwin H. (Armco International Division)
 KENNEDY, R. D. (Union Carbide Inter-America Inc.)
 KENWORTHY, Jr., Hugh (G. & W. H. Corson, Inc.)
 KERRY, Frank G. (American Air Liquide)
 LAWRENCE Jr., Robert (Swindell Dressler Company)
 LEON, Alexander J. (Forel Corporation)
 LOPEZ, Kenneth M. (Forel Corporation)
 MARGOLIN, Stanley V. (Arthur D. Little, Inc.)
 MARTIN, Peter (Koppers Co. Inc.)
 MATHIAS, William M. (Swindell Dressler Co.)
 MAYNARD, Ralph T. (Air Products & Chemicals, Inc.)
 MEDINA OLIVER, Alvaro (Forel Corporation)
 MEENAN, James G. (United Engineering & Foundry Co.)
 MICHEL, J. A. (Union Carbide Inter-America Inc.)
 MILLER, Jack R. (Battelle Memorial Institute)
 MONTGOMERY, John E. (H. K. Ferguson)
 MORENO MEJIA, Julián J. (Obenchain International)
 OBENCHAIN, Richard F. (Obenchain Corporation International)
 OSPINA RACINES, Alfonso (Great Lakes Carbon Corp.)
 PALADINI, Corrado (Luria Brothers Co. Inc.)
 PERSON, S. A. (Harbison-Walker Refractories)
 PINHEIRO, José (Arthur G. McKee & Co.)
 REMOTTI, Carlos (Union Carbide Inter-America Inc.)
 ROCHE, John P. (American Iron & Steel Institute)
 ROMER, Andrew (Waterbury Farrel)
 ROSILLO, Alvaro (Union Carbide Inter-America Inc.)
 RUVKUN, Sam (Kaiser Engineers)
 SCHNEIDER, Jorge (Bethlehem Steel Corp.)
 SEAVOY, Gordon E. (Whiting Corporation)
 SLEEPER, A. Z. (Unión Carbide Inter-America Inc.)
 SOTO ROCCO, Roger (Koppers Co.)
 SUTCH, Dan A. (Ramseyer & Miller Inc.)
 TRISKA, A. A. (Great Lakes Carbon Corporation)
 VAN LEEUWEN, Pieter (Wm. H. Müller & Co. Inc.)
 WASSERMANN, Wolfgang (Philipp Brothers)
 WAXWEILER, James W. (Armco International)
 WEBELMAN, Eduardo (Commercial Metals)
 WILLIAMSON, R. G. (Young, Davis & Williamson)
 WILSON, James W. (Unión Carbide Inter-America Inc.)
 WOLCOTT, Jr. R. W. (Brown Brothers Contractors Inc.)
 ZIMMERMANN, Robert E. (Koppers Co.)

Francia

ASTIER, Jacques E. (IRSID)
 MORANE, Didier (Société Air Liquide)
 MOREL, B. J. (SOFRESID)
 MUZARD, Juan D. (SOFRESID)
 ROUYER, Robert (Société des Forges & Ateliers du Creusot y ENSID)

Inglaterra

BODY, John G. (Davy-Ashmore International Ltd.)
 CLEERE, Henry (The Iron and Steel Institute)
 CORDERO, Raymond P. (Metal Bulletin)
 COWELL, Christopher Charles (Head Wrightson & Co. Ltd.)
 DE HAVILLAND, Major General P.H. (British Metalworking Plant Makers Association)
 HOLDOM, Ralph Th. (British Metalworking Plant Makers Association-Wellman)
 JENNINGS Rodney (Simon Carves Ltd.)
 NEVILLE, A. (BOC-Airco Cryogenic Plant Ltd.)
 PIANOFF, Alex (Davy-Ashmore International Ltd.)
 ROOKSBY, Peter E. (Head Wrightson Process Engineering Ltd.)
 STUART-WILLIAMS, J. A. (BOC-Airco Cryogenic Plant Ltd.)

Italia

BELLA, Piere Giovanni (Innocenti)
 CEPOLINA, Franco (Società Italiana Impianti)
 GRAZIOSI, Roberto (Ufficio Italiano Sviluppo Applicazioni Acciaio)
 MARIANESCHI, Edmondo (Centro Sperimentale Metallurgico)
 SICOURI, Lucien (Società Italiana Impianti)
 SILVA, Paolo (Società Italiana Impianti)
 PELLEGRINI, G. (Costruzioni Metalliche Finsider)

Japón

HIROSE, Nobue (Kobe Steel Ltd.)
 NAGANO, Osamu (Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co. Ltd.)
 NAKAJIMA, Shosuke (Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co. Ltd.)
 UCHIKAWA, Satoru (Fuji Iron & Steel Co. Ltd.)
 YAMAMOTO, Namoro (Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co. Ltd.)
 YAMASAKI, Katsuo (Fuji Iron & Steel Co. Ltd.)

México

ALVAREZ, José (Hojalata y Lámina S.A.)
 AYALA MEDINA, Enrique (Cía. Fundidora de Hierro y Acero de Monterrey)
 CONTRERAS M., Rafael (Altos Hornos de México S.A.)
 MORALES DORIA, Juan B. (Hojalata y Lámina S.A.)
 PIRRI, Gianni (Tubos de Acero de México S. A. — TAMS A)
 SADA, Camilo G. (Hojalata y Lámina S.A.)
 STOWELL, Alan W. (Phibro de México S.A.)
 SUESS E., Pablo (Union Carbide Mexicana)

Perú

ALVAREZ CALDERON, Francisco (E.N.S.A.)
 ALVAREZ PAREDES, Julio (SOGESA)
 ALVAREZ SEGURA, Juan (E.N.S.A.)
 ARCINIEGA ROJAS, Hernando (SOGESA)
 ARGUEDAS, Carlos (U.N.I.)
 BANDA, Juan (Corporación Peruana del Santa)
 BARBIS DALSASSO, René (SOGESA)
 BASOMBRIO PORRAS, Carlos (SOGESA)
 BEINGOLEA, Carlos (SOGESA)
 BEINGOLEA PANCORVO, José F. (SOGESA)
 BILAN, Bohdan (Marcona Mining Co.)
 BRAGAGNINI, Rodolfo (SOGESA)
 CABRERIZO, Juan Vicente (INANTIC)
 CAMPOS CASQUERO, Oscar (Acero Peruano S.A.)
 CARDENAS, Jorge (SOGESA)
 CARWIN, J. Ralph (Marcona Mining Co.)
 CONSIGLIERI, Manuel (Industria Peruana del Alambre)
 CORDERO, Leoncio (SOGESA)
 CROSSLEY, Nixon (Marcona Mining Co.)
 CHANG LAY, Alfonso (Banco Central de Reserva)
 DELTA, Carlos (Marcona Mining Co.)
 DIBOS CHAPPUIS, Eduardo (Electrometalúrgica Nacional)
 DIBOS, Enrique (Electrometalúrgica Nacional)
 DIBOS, José (Electrometalúrgica Nacional)
 EAST, Enrique (Marcona Mining Co.)
 GALUP, Manuel (Metalúrgica Peruana S.A.)
 GOLLEY, James B. (Armco Peruana S.A.)
 GONZALEZ DE LA COTERA, Manuel (U.N.I.)
 KINGSBURY, Chester L. (Marcona Mining Co.)
 KLAMROTH, Werner (Monofrax Corp. REPSA)
 LECLERE, Jean Claude (SOGESA)
 LEES, John S. (MEPSA)
 LEON, Elard (SOGESA)
 LEON PORTA, Enrique (MEPSA)
 LOPEZ, Máximo (Marcona Mining Co.)
 LUKAC, Iván (Industria Peruana de Alambre)

MANRIQUE DE LARA, Juan (SOGESA)
 MANZANERO, Miguel (Armco Peruana)
 MARSANO, Italo (Fundición Callao S.A.)
 MEDRANDA, Francisco (SOGESA)
 MEYER, Kurt (Industria Nacional de Productos del Acero S.A.)
 MOHANNA, Neme (SOGESA)
 MONGE, Enrique (U.N.I.)
 MORAN, Luis F. (Marcona Mining Co.)
 MUSCARI, Gaetano (U.N.I.)
 NEYRA, Luis (U.N.I.)
 NUÑEZ VALDIVIA, José (Industria Peruana del Alambre)
 OLIVARI, Fernando (Corporación Peruana del Santa)
 ORTIZ DE ZEVALLO, Fernando (Armco Peruana)
 PAREDES, Sergio (REPSA)
 PELLNY, Kurt (Ferrum Perú S.A.)
 PEÑA, Fausto (Electrometalúrgica Nacional)
 PEREZ CHAVEZ, Víctor (MEPSA)
 POGGI, Manuel (APESA)
 RATTO, Carlos (MEPSA)
 REMY, Luis (Marcona Mining Co.)
 RODRIGUEZ Y RODRIGUEZ, David (Metalúrgica Peruana S.A.)
 ROLDAN COBILICH, Carlos (SOGESA)
 SAENZ, Miguel (U.N.I.)
 SCERPELLA, Roberto (SOGESA)
 SEEGER, Hans Otto (Metalúrgica Nacional S.A.)
 SOMMARUGA, Alberto (SOGESA)
 SUAZO, Walter (Consultor independiente)
 TAPIA, Carlos (U.N.I.)
 TENNISON, John (Inventos Peruanos Enrique Marsano)
 TRIGOSO, Enrique (Ferrum Perú S.A.)
 UGARTECHE, Manuel (SOGESA)
 VALENCIA, Ricardo (Electrometalúrgica Nacional)
 VAN OORDT, Guillermo (SOGESA)
 VENEGAS, Juan (MEPSA)
 VEGA, Luis G. (Industria Peruana del Acero)

VERA, Fernando (SOGESA)
 YUPANQUI, Pedro (SOGESA)

Suecia

EKETORP, Sven (Royal Institute of Technology)

Suiza

MICHAELIS, Edward (BOT-Brassert Oxygen Technik A.G.)
 WASMUTH, Jobst Th. (Concast)

Uruguay

APPEL, David (INLASA, Industria Nacional Laminadora S.A.)

Venezuela

BLAT, Enrique (CVG, Siderúrgica del Orinoco C.A. — SIDOR)
 BRICEÑO, Guillermo (CVG, Siderúrgica del Orinoco C.A. — SIDOR)
 CERVINI, Reinaldo (SIVENSA, Siderúrgica Venezolana S.A.)
 DÍAZ CASANOVA, Rafael (SIVENSA, Siderúrgica Venezolana S.A.)
 GALAVIS, Félix (Orinoco Mining Co.)
 GAMBOA, Argenis (CVG, Siderúrgica del Orinoco C.A. — SIDOR)
 MILIANI, Pablo (AIM)
 PEHR OBERMANN, Jean Charles (INCOTICA C.R.L.)
 RIVERO, Otto (CVG, Siderúrgica del Orinoco C.A. — SIDOR)
 URRUELA, Charles M. (SIVENSA, Siderúrgica Venezolana S.A.)
 VALENSI, David (SIVENSA, Siderúrgica Venezolana S.A.)

Sesión inaugural

Comentario introductorio.

El tradicional Teatro Segura fue escenario de la solemne sesión de inauguración del VIII Congreso Latinoamericano de Siderurgia y de la IX Asamblea General de ILAFA, en la mañana del día lunes 16 de septiembre.

El Presidente de la República del Perú, Arq. Fernando Belaúnde Terry, se trasladó, acompañado por su comitiva, desde el Palacio Pizarro hasta el lugar de la reunión, donde era esperado por el Directorio del Instituto. Al entrar a la sala, el Presidente Belaúnde fue recibido con el aplauso unánime de la concurrencia, procediendo a ubicarse en la mesa de honor, en compañía del Presidente, del Vicepresidente y del Secretario General de ILAFA, señores Pedro F. Castiñeiras, David Appel y Aníbal Gómez, respectivamente; del Presidente del Directorio de la Sociedad Siderúrgica de Chimbote S.A. (SOGESA), Ing. Manuel Ugar-teche; del Director del Instituto Nacional de Planificación,

Dr. Carlos Pestana; del Alcalde de Lima, Dr. Luis Bedoya Reyes, y del Presidente de la Comisión Organizadora Peruana, Ing. Hernando Arciniega.

Inmediatamente después de escucharse el Himno Nacional del Perú, se inició la sesión inaugural, en la cual hicieron uso de la palabra el Alcalde Sr. Bedoya, el Ing. Hernando Arciniega, el General Pedro F. Castiñeiras y el Presidente Belaúnde Terry, quien declaró oficialmente abierto el VIII Congreso Latinoamericano de Siderurgia. Todos los discursos —que se reproducen in extenso en este capítulo—, fueron transmitidos directamente a todo el país por intermedio de Radio Nacional del Perú.

Al término de la reunión, y en el mismo Teatro Segura, fue servido un champaña de honor que dió oportunidad para que el Presidente Belaúnde Terry departiera cordialmente con los representantes de la siderurgia y de la minería del fierro.

Saludo de la histórica ciudad de Lima a los congresistas de ILAFA

BIENVENIDA DEL DR. LUIS BEDOYA, ALCALDE DE LIMA

Este recinto es para el caso la prolongación misma de la Casa de la ciudad, que se honra en recibir a hombres del continente y a hermanos situados más allá de los océanos que vienen a la ciudad de Lima para deliberar a la luz de sus propias experiencias con respecto a la industria siderúrgica. Quizás si este mismo certamen desarrollado en países que han alcanzado, por su propio esfuerzo y por la ayuda de las circunstancias y coyunturas favorablemente aprovechadas los más altos niveles de progreso, sería el trato de experiencia entre hombres que ponen su propia ciencia y experiencia al servicio de los pueblos. Pero, cuando un certamen como éste se reúne en países como los nuestros, es de características y significaciones singulares, porque el mundo es testigo mudo pero elocuente del tremendo esfuerzo, de la voluntad intolerante de estos pueblos de Latinoamérica que reclaman su sitio bajo el sol, no simplemente porque reclamen y pidan con el derecho que a todo hombre asiste, con la urgencia que a todo pueblo en justicia le corresponde, sino porque, en verdad, todo el acercamiento nacido en la voluntad y en el corazón de los hombres, en el propio desarrollo de cada una de nuestras comunidades, podrá hacer cierta la fraternidad entre los hombres, sin importar donde ellos hayan nacido.

Las distancias que cada vez nos alejan más de los pueblos desarrollados que han ingresado ya en la segunda revolución industrial, en la era del átomo, de la electrónica y de las computadoras, nos encuentran a estos países de Latinoamérica trasponiendo recién las curvas iniciales que han de permitirnos entrar auténticamente a la primera revolución industrial. Y cuanto más tiempo pase para que estos pueblos realmente despeguen, las distancias irán separándonos en progresión geométrica, porque realmente la volcadura que los pueblos grandes pueden hacer de sus propios esfuerzos financieros para sus propios avances tecnológicos, irán distanciando más a esas naciones de estas naciones.

La siderurgia constituye, como industria básica, uno de los esfuerzos más sostenidos y perseverantes que estos pueblos tienen que hacer para encontrar la meta de su propio despegue; pero es evidente que en la siderurgia se hace clara y nítida la situación de estos pueblos que no pueden acumular recursos por el ahorro interno, pese a su propia voluntad, voluntad intolerante, indesmayable. No basta el esfuerzo de los hombres, no basta el planeamiento en sus economías, no basta la voluntad nacional, porque no siempre el ahorro acumulado nos pro-

vee de los recursos financieros suficientes para tentar industrias y esfuerzos que la técnica reclama con mayor acopio de economía y de posibilidades monetarias. Por eso, en pocos campos como en éste se tiene que hacer más notoria la ayuda internacional, que no puede quedarse en el mero protocolo formalista de expresiones, que no puede quedarse en la mera promesa de manos extendidas, sino que tiene que concluir con el respeto de nuestros propios ingresos derivados de las materias primas que exportamos, que cada vez aumentan en volumen y disminuyen en valor frente a una manufactura que cada vez encarece más para estos mismos pueblos que envían trabajo acumulado, que es su aborreo frente a manufacturas que cada vez cuestan más y que tienen que salir de sus propias divisas.

Sólo avanzaremos en la medida que entendamos que las integraciones, si son fraternas, nacen de brazos hermanos extendidos, y que actuemos conforme a ello. En el mundo de los hombres, en el mundo de las responsabilidades individuales, para cualquier creyente o no creyente, los poderosos administran lo que tienen en demasía, porque el principio de justicia exige que lo que se tiene en demasía se entregue a los hermanos para que vivan dentro de niveles humanos y vitales. Así, también, en la comunidad de las naciones, aquellas naciones y pueblos que, por razón de su propia condición, han ingresado a un volumen de riqueza acumulada que contienen algunos de ellos en demasía, tienen que extenderse, por principio de solidaridad humana, por principio de propia seguridad, más allá de las palabras,



más allá de las expresiones meramente retóricas, en una amplia suma de voluntades, para que con el esfuerzo de todos los hombres se salve cada hombre en esta humanidad que lucha por encontrarle a cada ser humano la dignidad de criatura hecha por Dios a su imagen y semejanza.

Por eso, cuando este certamen, señor Presidente, señores Congresistas, se reúne en una ciudad como Lima, ella, alborozada abre sus brazos y les dice a Uds., hombres de buena voluntad, de esfuerzo, de técnica y de economía, "Bienvenidos a la Ciudad", porque la ciudad y el Perú esperan provecho de vuestras deliberaciones.

EL PRESIDENTE FERNANDO BELAUNDE departe con el General Castiñeiras y los Ings. Manuel Ugarteche y Hernando Arciniega, en el hall del Teatro Segura.



Brillante oportunidad para intercambio de experiencias y de afanes de progreso

TEXTO DE LA INTERVENCION DEL ING. HERNANDO ARCINIEGA, PRESIDENTE DE LA COMISION ORGANIZADORA PERUANA DEL VIII CONGRESO LATINOAMERICANO DE SIDERURGIA, EN LA SESION INAUGURAL, LIMA, PERU, 16 DE SEPTIEMBRE DE 1968.

En nombre de la Comisión Peruana Organizadora del VIII Congreso Latinoamericano de Siderurgia, me es particularmente grato dar la cordial bienvenida a los señores Delegados que concurren a este certamen que, bajo los auspicios del Instituto Latinoamericano del Fierro y el Acero, se inaugura hoy en nuestra capital.

Las reuniones anuales a que ILAFA convoca para celebrar los Congresos Latinoamericanos de Siderurgia tienen por objeto ofrecer a los dirigentes y técnicos de las empresas afiliadas a nuestro Instituto, así como a los prestigiosos hombres de ciencia y expertos europeos, norteamericanos y japoneses, la ocasión de que expongan el valioso caudal de los resultados y las conclusiones de sus conocimientos, investigaciones y estudios realizados, a fin de asegurar una más eficiente operación industrial de las empresas siderúrgicas.

Asimismo, en estas ocasiones se suele informar acerca de las experiencias administrativas y de las nuevas orientaciones que las gerencias de las empresas productoras de acero ensayan con el propósito de mejorar las técnicas de dirección de estas industrias.

Conjuntamente con estas exposiciones, sobre asuntos de técnica industrial y temas de índole administrativo, desde hace varios años, prácticamente desde la fundación de nuestro Instituto, los empresarios asociados a ILAFA, conjuntamente con expertos de organismos internacionales, han venido dialogando sobre los problemas relacionados con la economía de la industria siderúrgica y, en particular, acerca de las posibilidades y perspectivas de integrar, dentro del marco de la Asociación Latinoamericana de Libre Comercio, las actividades siderúrgicas.

Los resultados de esas jornadas de trabajo nos han brindado una magnífica ocasión para que los dirigentes de muchas empresas afiliadas a ILAFA aprovechen las experiencias y conocimientos alcanzados e introduzcan en las suyas nuevas técnicas de operación. Igualmente en el campo administrativo ha sido frecuente implantar mejoras en procedi-



mientos que fueron objeto de exitosos ensayos en las organizaciones que marchan a la vanguardia en materia de dirección científica de los negocios.

Finalmente, por lo que respecta a las materias de carácter económico y, en especial, a los asuntos que se relacionan con la integración latinoamericana, así como con las conclusiones de las exposiciones y de los debates que se han registrado en nuestros Congresos, permitieron a la Asamblea y al Directorio de ILAFA, formular valiosas declaraciones que, a su vez, sirvieron para establecer, fijar y consolidar, con toda claridad, la posición que corporativamente ha adoptado nuestra industria con respecto a estas materias.

Todo ello ha permitido reafirmar nuestra voluntad institucional en procura de secundar todo esfuerzo integracionista que se afirme sobre un profundo y sólido conocimiento de nuestra realidad,

dentro del contexto de la problemática de la economía del continente, y que no pretenda erigirse sólo en base a simples declaraciones y manifestaciones inspiradas en principios doctrinarios o ilusorios, resultantes de fríos estudios académicos o reflejo de conclusiones extraídas de medios distintos al de nuestra América Latina, y que, en consecuencia, no responden en absoluto a un auténtico y profundo examen de los factores esenciales que inciden en el brillante desarrollo de la siderurgia latinoamericana.

Vemos aquí, con honda satisfacción, la presencia de personas provenientes de la Comunidad Europea del Hierro y del Carbón, cuya constitución es uno de los éxitos más notables de la sólida fusión y continuo desarrollo de la industria siderúrgica en nuestros tiempos. El ejemplo de la CECA nos puede servir de fuente de inspiración para lograr entre nuestras naciones latinoamericanas un lógico, armónico y fecundo progreso de la industria siderúrgica.

Al igual que en las reuniones celebradas en Montevideo, Bogotá, Santiago, Caracas, Ciudad de México, Buenos Aires y São Paulo, abrigamos la seguridad de que también en este VIII Congreso de Lima, los Delegados participantes al mismo habrán de recoger valiosas experiencias que enriquecerán su caudal de conocimientos. El temario para estas jornadas de trabajo es sumamente sugestivo. Y la calidad de los expositores todos ellos hombres de reconocida solvencia profesional e intelectual, constituye la mejor garantía de un éxito que damos por descontado.

Para la Comisión Peruana Organizadora del Congreso resulta altamente grato poder brindar su cálida hospitalidad y su sincera amistad a todos y cada uno de los participantes de este certamen, a quienes podemos asegurarles que será para todos nosotros una gran satisfacción el saber que puedan llevarse, de regreso a sus respectivos países, después de estos breves días de permanencia en esta ciudad de Lima, el agradable recuerdo de unas jornadas de fructífero trabajo y de auténtica camaradería.

Aporte de ILAFA a la dilucidación de los problemas más generales y de mayor nivel de la América Latina

DISCURSO DEL TENIENTE GENERAL PEDRO F. CASTIÑEIRAS, PRESIDENTE DEL INSTITUTO LATINOAMERICANO DEL FIERRO Y EL ACERO

Ante todo, como corresponde, quiero expresar mi agradecimiento. Agradecimiento al Perú y a esta gran ciudad de Lima, por el fraternal recibimiento que nos dispensa; al pueblo y gobierno peruanos, especialmente a S. E. el señor Presidente de la República y sus colaboradores, que nos hacen la altísima distinción de acompañarnos en esta jornada inicial; a la Comisión de Honor y a la Comisión Organizadora, que con escrupuloso cuidado han trabajado para que este Congreso tuviera el mismo éxito de sus antecesores; a los que han venido a traernos la colaboración de su experiencia y la palabra de estímulo y aliento.

Esta magnífica reunión pone de manifiesto, una vez más, la comunidad de lazos que unen a los hombres del acero del área y que movieron, hace nueve años, a constituir ILAFA. Industriales siderúrgicos, de la minería del hierro y de equipos y máquinas, así como renombrados técnicos y asesores vinculados a nuestra tarea, estamos aquí reunidos para celebrar el VIII Congreso Latinoamericano de Siderurgia y la IX Asamblea General de miembros del Instituto, en un clima de confraternidad que nuestros amigos peruanos hacen aún mayor con la tradicional cortesía que los distingue.

Me atrevo, entonces, a calificar esta cita como el "broche de Lima" a la cadena de congresos siderúrgicos celebrados ya en los países a que pertenecen nuestros asociados, señalando así el cierre de un ciclo fructífero, precursor de otro que espero sea más fecundo todavía en sus resultados, si ello fuera posible.

ILAFA ha recorrido un largo camino en sus logros a pesar de sus pocos años de existencia. Y esto es lo valioso. Las ideas, como las simientes, pueden atesorar atributos de la mejor calidad, y a pesar de eso fracasar en su realización, si no se las utiliza en el momento y lugar oportunos, si no se las cultiva con cuidado y si no se atienden luego cuidadosamente los requerimientos de su desarrollo, cada vez más complejo a medida que avanza su evolución. Tal es lo que ha ocurrido en el caso de ILAFA desde que la idea de constituir el Instituto entusiasmara a los empresarios siderúrgicos de esta parte del mundo. Y por eso, con íntima satisfacción, podemos hoy contemplar la obra realizada y los frutos del esfuerzo. Contemplación que debe llevarnos, con ahínco, a persistir en nuestros propósitos, ya que si es mu-



cho lo logrado hasta ahora es mucho más lo que esperamos obtener en el futuro para beneficio de todos.

No tenemos otros títulos que mostrar que aquellos que nos da la actividad empresarial. Pero sería erróneo suponer que ella limita el campo de acción y que el único móvil que nos guía —por importante que sea— se reduzca a la preocupación de que el giro de nuestros negocios sea exitoso. Lo cierto es que tenemos mucha mayor amplitud de miras. Porque esa actividad empresarial juega un papel importantísimo en la constante preocupación de nuestras comunidades por obtener una adecuada satisfacción de las necesidades del mercado y por lograr el mayor progreso de la región a que pertenecemos. Y ni aún con ello termina nuestro campo de acción. Vivimos hoy en un mundo que se caracteriza por una interdependencia nunca antes conocida, en la que no es ajeno a cada uno el acierto o el fracaso de los otros. Alguna vez se ha dicho, con toda propiedad, que las posibilidades de progreso colectivo sólo podrán realizarse en la medida en que sea posible lograr una economía general en constante expansión y progreso, en la que las esperanzas de alcanzar una vida mejor para todos dependen de la vida mejor que alcancen los demás.

Siendo la siderurgia madre de industrias, grande es nuestra responsabilidad como empresarios y, por consiguiente, grandes deben ser los esfuerzos que realicemos para cumplir con nuestro cometido tal como lo exigen las circunstancias de la hora presente. Por lo pronto, quiero señalar entre los múltiples problemas que nos plantea la actualidad aquel que se refiere a la imperiosa necesidad de estar permanentemente a tono con los avances de la técnica, en constante superación, ya que vivimos un tiempo de innovaciones fundamentales. Sería suicida quedar aislado de esta evolución. El esfuerzo para adaptarnos a las nuevas condiciones es irrenunciable si es que no queremos correr el riesgo de alejarnos del mercado competitivo. Todos los recursos de nuestras empresas deben estar hoy al servicio de este afán de superación. Y aquí, cabe hacer resaltar lo que la obra de ILAFA contribuye a solucionar tales problemas.

Es en reuniones como la presente que podemos ponderar lo que cada una de nuestras empresas ha realizado, medido en comparación con las técnicas más adelantadas que aquí son expuestas. Para ello contamos con la presencia viva de personalidades cuyas opiniones y recomendaciones habremos de escuchar, a fin de que nos ilustren, a modo de mentores, con los consejos nacidos de su conocimiento y de su experiencia. De esta manera, estaremos en mejores condiciones para afrontar el proceso de superación que constituye nuestro afán diario, tratando de estar a tono con la vertiginosa carrera tecnológica que caracteriza al siglo en que vivimos. Así responderemos, también, a interrogantes capitales que nos desafían: dónde estamos, qué innovaciones debemos incorporar a nuestras plantas, cuál es la dimensión y diversificación que mejor permite satisfacer las necesidades...; todo ello para hacer más accesible el producto al consumidor, logrando que se multiplique el consumo del acero, índice indiscutido no solamente del grado de industrialización de un país, sino, de un modo más general aún, del desarrollo económico alcanzado.

Es esta clase de temas —que la brevedad del tiempo sólo me permite esbozar— los que podemos analizar debidamente en ILAFA, que nos brinda en congresos, comités asesores, seminarios, mesas redondas, etc., la posibilidad de profundizarlos, hallando las soluciones que convengan a cada uno. De esta manera, confrontando nuestro caso con los de los demás, acortamos el proceso

que lleva a su solución, como fruto del recíproco intercambio de opiniones y experiencias. Un obligado paréntesis anual, como el presente, es ocasión oportuna para recapitular. ILAFA viene así a estar colocada en el centro neurálgico de nuestras inquietudes, es el laboratorio donde analizar los temas comunes y el núcleo de irradiación de las soluciones más aconsejables a las circunstancias. Luego nuestra experiencia servirá, a su vez, a los gobiernos para adecuar su política en procura del rápido avance de la industrialización de nuestras economías.

En estos momentos las estadísticas nos muestran un cuadro realmente alentador. La producción de acero de Latinoamérica se ha triplicado en el curso de los últimos diez años, superando el desarrollo de cualquier otra actividad fundamental para el progreso del área. El proceso se inició en nuestros países sustituyendo con la producción nacional a una extendida gama de productos destinados directamente al consumidor, con lo que se logró una evidente economía de divisas y la ubicación de una mano de obra cada vez más abundante, imposible ya de sostener con la elaboración tradicional de productos primarios. Pero hoy lo vemos abarcando la etapa más avanzada de las industrias llamadas básicas, que a su vez alimentan una vasta red de actividades intermedias. De este modo se mejoró, más profunda y trascendentalmente, la estructura de nuestro quehacer industrial. Un signo evidente es la evolución alcanzada por la producción local de maquinarias y equipos, que nos va liberando, por lo menos en los procesos de menor complejidad, de la tutoría de la industria de los países más desarrollados.

Aclaro que no está en mi ánimo crear aquí la imagen de un proceso que nos conducirá a una verdadera autarquía, puesto que la meta a alcanzar para ello no se encuentra estática esperándonos. Al contrario, se nos aleja a medida que avanzamos, siguiendo el formidable progreso técnico de los países que marchan a la vanguardia. Por otra parte, en nuestro crecimiento, que se irá haciendo cada vez más complejo, no podríamos adquirir los bienes de uso que no estemos en condiciones técnico-económicas de producir si no nos liberamos de la carga que significa tener que comprar también productos o equipos primarios o menos evolucionados. Se trata, en última instancia, de posibilitar la sustitución inteligente de importaciones a medida que adelantamos en nuestro desarrollo.

El problema que hoy afronta la civilización, y que constituye un verdadero desafío, radica en hacer llegar a todos los pueblos el goce de los recursos que brinda el progreso tecnológico. Si se ensancha la brecha que separa a los más evolucionados de los que quedan a la zaga, les será a éstos cada vez más difícil alcanzar el constante progreso material, que conocen y desean compartir. Ha sido relativamente fácil uni-

ficar el mundo por los vasos comunicantes de la información. Mucho más arduo es lograr la distribución proporcionada de bienes y recursos, por altos que sean los sentimientos que inspiran este desiderátum humanitario. Precisamente, un fermento existente en los pueblos en desarrollo nace de la urgencia de gozar de un nivel de vida más elevado, del que tienen plena conciencia.

Interpretada como corresponde, esta urgencia radica en la necesidad de encontrar solución a las carencias actuales. No debemos, pues, confundirla con la impaciencia que conduce a veces a decisiones contraproducentes, dislocadora de estructuras, sin seguridades mínimas de alcanzar un orden superior, como resultaría de seguir algunas de las doctrinas políticas actuales, forjadoras de vanas ilusiones. Tampoco permite la época, esencialmente dinámica, esperar que nuestros países sigan el largo proceso que ha posibilitado a los más evolucionados alcanzar el nivel de progreso que hoy ostentan. De allí el planteo que viene haciendo la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo (UNTAD) en su esfuerzo por "buscar un sistema mejor y más eficaz de cooperación económica internacional, con miras a hacer desaparecer la división del mundo en zonas de pobreza y zonas de abundancia y que traiga la prosperidad a todos, y encontrar los medios de aprovechar los recursos humanos y materiales de todo el mundo para acabar con la pobreza en todas partes".

La II Conferencia, reunida este año en Nueva Delhi, volvió a insistir en la necesidad de llevar a cabo estos planes. No se han cumplido, ni se cumplirán, es de preverlo, si no forman parte de una política mundial que comprometa a los participantes y si los países evolucionados no consideran esta ayuda externa como un factor de beneficios recíprocos, presentes y futuros, independientemente del curso de las fluctuaciones de sus economías nacionales. Las mismas dificultades por las que están atravesando esos países son un índice evidente de que, por ahora, existen pocas esperanzas de alcanzar el objetivo propuesto.

Debemos apreciar estos problemas con enfoque realista. Personalmente pienso, como muchos, que en el desarrollo económico de Latinoamérica —como en el de cualquier otra área que lucha por las mismas apetencias de progreso— tiene la mayor importancia, es fundamental, el juego generador de factores internos, al que hay que hacer más eficiente en relación con los esfuerzos individuales que requiere y más armónico en el reparto de los beneficios que produce. La ayuda exterior en cualquiera de sus formas, se trate de donaciones o préstamos gubernamentales, o de incorporación de capitales privados foráneos, es importante —porque la necesitamos para apurar el proceso— pero de importancia relativamente marginal. Lo real-

mente esencial es el aprovechamiento de lo que puedan rendir la inteligencia, la perspicacia y la intuición creadora propias de nuestros pueblos. En síntesis: revitalizar todas las manifestaciones de nuestra vida doméstica, a fin de lograr un empleo más efectivo de nuestras fuerzas de trabajo y de nuestros propios recursos, que no son pocos.

Este progreso material, al que vengo aludiendo, con ser mucho no lo es todo. Tales esfuerzos desarrollistas no tendrían sentido cristiano si no estuvieran encaminados a mejorar al hombre. Luchamos por la conquista de una prosperidad material, pero no como meta última, sino como base de un mejoramiento humano total. Ya lo ha dicho claramente Su Santidad Pablo VI en la carta encíclica "Populorum Progressio": "El desarrollo no se reduce al simple crecimiento económico. Para ser auténtico debe ser integral, es decir, promover a todos los hombres y a todo el hombre".

Tanto por su posición geográfica como por la composición étnica de sus poblaciones y las riquezas que atesora, son evidentes las posibilidades de Latinoamérica. Quizás más promisorias que en cualquier otra área. Por lo pronto, compartimos un continente que ha permitido la constitución de un país, los Estados Unidos, que es hoy exponente máximo de la prosperidad lograda en nuestra civilización y donde la investigación científica, en previsión de futuro, ha alcanzado los niveles más elevados que se hayan conocido. Además, el espíritu de cooperación que caracteriza a sus instituciones hace posible para nosotros contar, sin retaceos, con medios que son indispensables para nuestra capacitación en todos los campos, no bien estamos en condiciones de asimilarlos, lo que es, sin duda, la ayuda más constructiva que podamos esperar en beneficio de una rápida y sólida evolución progresista.

Latinoamérica constituye un área de influencia con primera prioridad en los programas de colaboración norteamericana, y es lógico que así sea, teniendo en cuenta los lazos que nos unen. Comprendiendo desde los primeros momentos el significado que tiene la industria siderúrgica y su impacto en el desarrollo de nuestros países, no han titubeado en prestarnos su valiosa colaboración por medio del Banco de Exportación e Importación. En un orden de cosas más general, debe destacarse, también, la acción en marcha de la Alianza para el Progreso y el apoyo de la obra que desde su creación viene realizando el Banco Interamericano de Desarrollo, exponente vívido de la cooperación financiera alcanzada en el continente.

Pero insisto que, a pesar de esas fuentes de financiación externa, este camino tiene sus lógicas limitaciones en las propias posibilidades. La curva creciente del endeudamiento de Latinoamérica no puede seguir así. La carga de los servicios resulta ya demasiado pesada como para querer multiplicar las inversiones, sin



DIRIGENTES SIDERURGICOS. Los señores Charles B. Baker, Secretario General del Instituto Internacional del Fierro y el Acero y John P. Roche, Presidente Ejecutivo del American Iron and Steel Institute (al centro), conversan con los señores Jorge Schneider (izquierda), de Bethlehem Steel Corp. y Edmundo F. Petersen Jr., de Bethlehem Chile Iron Mines Co.

mejorar simultáneamente la actual limitación en nuestra capacidad de pagos. Necesitamos, es indudable, una rápida evolución multiplicadora del esfuerzo para posibilitar un mayor producto bruto y una más elevada tasa de ahorro nacional. Juega un rol importante lograr un nivel más elevado de capacitación técnica, de manera que el rendimiento productivo por habitante y la calidad de los bienes que se elaboren, superen marcas constantemente. Es un problema de educación de nuestros pueblos y, como tal, de lentos resultados si no se acicatea en forma adecuada su evolución.

Es necesario y urgente encontrar una motivación que haga redoblar el esfuerzo por una vida más acorde con las amplias satisfacciones que brinda el progreso, así como inculcar la noción de que el mayor bienestar que se anhela no puede ser fruto de una efímera promesa demagógica, sino resultado del esfuerzo mancomunado de todos los factores puestos al servicio de la comunidad. Estaremos, entonces, en mejores condiciones para lograr la masa de ahorros que necesitamos y que será siempre la base más sólida del desarrollo de nuestros países, sin que ello signifique poner en tela de juicio las atrayentes aunque limitadas perspectivas que significa contar además con la ayuda foránea, que de esta suerte resultará menos aleatoria.

Tanto hablamos del necesario proceso de industrialización que algunos pudieran considerar que lo creemos sinónimo de industria fabril, excluyente de cualquier otra actividad del proceso de desarrollo. Es que esta industria es el más reciente de los factores incorporados con profunda influencia en nuestras economías y del que más evolución de todo orden esperamos, especialmente para dar

empleo a nuestras crecientes masas trabajadoras. Pero ello no lleva implícito desestimar los méritos de los otros factores que contribuyen al progreso colectivo, particularmente la industria dedicada al agro. Son las actividades agropecuarias las que más contribuyen a mejorar los niveles de subsistencia, base para una industria competitiva. Y ellas, como las mineras y otras de índole primaria, son las que hoy proporcionan la mayor parte de las divisas extranjeras que necesitan nuestros países. Campo y ciudad no son términos antagónicos; por el contrario, de su concordancia armónica y productiva depende nuestro bienestar general.

En suma, vivimos en un continente rico en reservas naturales y con grandes posibilidades de alcanzar, a poco que sepamos sacar provecho del cúmulo de factores favorables a nuestro alcance, un lugar de primera línea dentro del concierto de naciones del mundo occidental al que pertenecemos. Es ya consenso generalizado que corresponderá a nuestra área el mayor desarrollo relativo en lo que resta de este siglo.

Latinoamérica merece vivir horas de tranquilidad y paz interior y exterior para poder alcanzar la plenitud de sus posibilidades. El clima de estabilidad es necesario para que no se resientan los sensibles resortes de la economía. Lo difícil es establecer una línea de conducta justa, que mire adelante sin detenerse en prejuicios. Pero, una vez establecido el plan de acción que consideramos más ajustado a nuestro medio, hay que persistir en él, evitando los frecuentes cambios, signos de inmadurez cuando no de inestabilidad política.

La transformación de la economía que se viene cumpliendo en nuestros países

ha descubierto en muchos sectores las ilimitadas posibilidades de producción masiva y, por tanto, de mayor consumo y más elevado nivel de vida. No se trata, entonces, cuando se habla de la necesidad de un cambio de estructuras, de minar o destruir el orden de cosas existente; pero debemos reconocer que el orden establecido es duradero mientras no se oponga a la impostergable evolución, renovación o cambio que surjan en el camino por la constante necesidad de lograr un equilibrio justo entre los componentes de la comunidad, atento a los supremos preceptos de bien común necesarios para el progreso. Modernizarse es sinónimo de todo ésto. Decía el Secretario de Estado americano Foster Dulles: "una frecuente causa de grandes conflictos ha sido el esfuerzo de la gente satisfecha de identificar la paz con la perpetuación del "statu quo". Si oponemos una barrera infranqueable a toda evolución, es seguro que termina en un cambio violento y hasta explosivo". Es que la paz hay que identificarla con el desarrollo: es su nuevo nombre, como bien lo dice la carta encíclica que antes citara.

No puedo ni debo dejar pasar la oportunidad de referirme a los ideales comunes que sustentan nuestros anhelos de alcanzar la integración latinoamericana. Decía a este respecto el año pasado que "era de esperar que, sin hacernos eco de expectativas desmesuradas, en su debida oportunidad el conjunto debía amalgamarse adecuada y fructíferamente en la gran obra que significará confundir la hermandad latinoamericana en una integración que multiplique los méritos y posibilidades de cada uno". Y bien; frente a las dificultades que vienen oponiéndose a su realización efectiva, se están encontrando nuevos y más promisorios caminos, sobre bases que, atendiendo a las necesidades comunes, no nos entreguen a mecanismos supranacionales, muy prematuros por cierto. Hay que preservar, hasta los últimos límites de su utilidad y conveniencia, la independencia de acción que significa y lleva implícito nuestro quehacer nacional, que en ningún momento debe someterse a la prueba de una pugna con los intereses del área. Se está ahora en procura del máximo intercambio, de materializar proyectos de obras multinacionales de manera de extender el marco de sus beneficios, de procurar con un criterio realista acelerar el desarrollo de todos y cada uno de sus componentes, hasta que las circunstancias nos muestren la conveniencia de avances más profundos en nuestra estructura de conjunto. Todo ello, sin perjuicio de los pasos más acelerados que decidan algunos países en sus áreas respectivas. Por cierto que el dinamismo propio de estos procesos nos muestra de continuo nuevas fórmulas integracionistas que, de ser factibles llevar a la práctica, significarán otros tantos avances de materia tan cara a nuestros sentimientos latinoamericanos.

Tales son algunos de los grandes temas que nos preocupan y que tienen en ILAFA la posibilidad de analizarse en busca de soluciones satisfactorias. De allí la doble posibilidad que presenta el Instituto: la consideración de los problemas particulares de un grupo de siderurgistas latinoamericanos trae consigo el debate sobre otros problemas, más generales y de mayor nivel, en el que todos están interesados, que son vitales para el desarrollo y a cuya dilucidación podemos aportar los hombres del acero nuestra experiencia, aunque pequeña, y nuestro entusiasmo, que es ilimitado.

Además —y éste además es muy importante—, los asociados de ILAFA nos reunimos anualmente para considerar lo

hecho en los doce meses que han transcurrido y para decidir lo que haremos en los doce meses venideros. El alto en el camino es, por tanto, útil y necesario. Esa es la tarea de la Asamblea General. En mi carácter de presidente del Instituto —vista la general concurrencia de representantes de miembros activos— declaro constituida dicha Asamblea, de la que, en las reuniones siguientes, consideraremos los puntos del orden del día.

En cuanto al Congreso, he solicitado a S. E. el señor Presidente de la República se digne declararlo inaugurado, solicitud que ha tenido la mejor de las acogidas. Escucharemos, así, la palabra del primer mandatario peruano, lo que hará más entrañable

nuestro reconocimiento por el honor con que nos distingue.

El directorio del Instituto dirige por mi intermedio un saludo a todos los que se congregan aquí: a los representantes de los miembros activos y afiliados, a los miembros honorarios, a los que colaborarán en las jornadas de estudio que constituyen el Congreso y a los que nos traen con su presencia el necesario estímulo para perseverar en la obra emprendida.

Después de mi agradecimiento, después de mi saludo, deseo cerrar estas breves palabras preliminares con un voto: un voto porque el mayor de los éxitos, que descontamos en la esperanza, corone nuestros esfuerzos.

Intima vinculación de la siderurgia con la lucha por el desarrollo

DISCURSO DEL ARQ. FERNANDO BELAUNDE, PRESIDENTE DE LA REPUBLICA DEL PERU

Es con profunda satisfacción y con ferviente esperanza que declaro inaugurada la VIII Conferencia Siderúrgica Panamericana (VIII Congreso Latinoamericano de Siderurgia), al que concurren, honrándola, representantes de todos los países del hemisferio y algunos distinguidos delegados de otros continentes, a quienes doy la bienvenida más cordial.

La magnitud y el tema de este certamen me permiten hablar esta mañana el lenguaje de América, pensar en grande, hablar no del sentido asolador, como alguien lo dijo en un Perú, de lo mío, sino del sentido salvador de lo nuestro, y de confrontar cuántas dificultades tenemos todavía que sobrellevar en nuestros países y cuántas esperanzas representa el que se hable este lenguaje que hemos escuchado, el que se reunan nuestros países, representados por personajes de tan alta calidad técnica, científica y moral, para pensar en nuestro futuro y en nuestro desarrollo.

La industria siderúrgica está tan íntimamente ligada al desarrollo, que no podríamos desconocer la necesidad de prepararnos para abastecer de elementos metálicos todas nuestras actividades en la industria, en la construcción de maquinarias, en la construcción vial, en el desarrollo agrícola, en la construcción naval, en la edificación urbana, en la necesidad del realojamiento casi total de nuestras poblaciones. Pero observamos que nuestra capacidad de abastecernos es todavía escasa y tenemos que recurrir a mercados más lejanos, no sólo en busca del acero que requiere nuestro desarrollo, sino —y esto es muy importante—, en busca de las facilidades crediticias que nuestros países generalmente no están en condiciones de hacer. Sin embargo, debemos pensar en un hemisferio, y particularmente en el caso de Sudamérica, en un Continente Sudamericano, que pueda recibir los beneficios de lo que podríamos llamar, quizás, un mercado común del acero. Pero, para que un mercado sea común, tiene primero que ser mercado. Y esta es nuestra dificultad inicial.

Sabido es que nuestras poblaciones han tenido tendencia periférica en este continente, y esto fue natural en el momento de la conquista. En épocas pretéritas, en cambio, sin disfrutar de los beneficios del intercambio mundial, en el más severo aislamiento el Imperio Incaico se fijó en una zona central del país y escogió Manco Capac su capital en el corazón de los Andes. Hemos tardado mucho en volver la mirada hacia este



gesto sudamericano correspondiente al gesto mexicano, cuando la vieja Tenochtitlán se creó precisamente en el corazón de aquel país hermano, gemelo del mío. No había entonces tendencia periférica, pero el colonialismo con su natural conexión a la metrópoli creó esta tendencia en el continente y se formaron las grandes aglomeraciones, como en el caso de Buenos Aires, Montevideo, Río, Lima y tantas otras ciudades, con una tendencia centralista sumamente vigorosa que atrajo y llenó las poblaciones del interior de nuestros países. Pero ha habido actos que afortunadamente tienden a corregir esta situación y tienden a una mejor distribución de la población sobre el territorio. Uno de ellos, que viene a ser el reflejo de la fundación pretérita del Cuzco, es la visionaria idea de la creación de Brasilia, que en el orden administrativo representa ya una vuelta de la mirada hacia el corazón del continente. Y una idea vigorosa es aquella que alienta el desarrollo de la Cuenca del Plata con aprovechamiento de su inmensa posibilidad de generación de energía. Y otra idea de ese orden es la idea venezolana del desarrollo del Orinoco, sobre la base del proyecto metalúrgico en torno a Cerro Bolívar.

Finalmente, nosotros, con los países vecinos, hemos propuesto una actividad colonizadora en la vertiente oriental de los Andes, que permita desplazar nuestro excedente de población de la serraña hacia el Este, en vez de seguir esti-

mulando un inorgánico crecimiento o desplazamiento hacia el Oeste, donde contemplamos severas limitaciones de riego, donde si bien tenemos un amplio litoral carecemos de agua suficiente para utilizar en su integridad estas tierras beneficiadas por un clima saludable y grato. Queremos, pues, en la gran planificación volver los ojos hacia el corazón del continente. Y en esta gran operación, que podríamos llamar de modernos Mitimaes, ya que en el pasado del Perú la geografía misma determinó la necesidad de la migración estimulada y dirigida, en este movimiento el elemento fundamental va a ser evidentemente el acero, la mecanización, la construcción metálica.

Yo quisiera aprovechar estos momentos para transmitir algo de nuestra experiencia en el Gobierno, y para que pueda, o no pueda verse, cuantas dificultades tenemos que afrontar y cuantos absurdos que realizar precisamente por no haberse operado antes esta migración planificada hacia aquellas regiones que un gran peruano llamó: *"TIERRA SIN HOMBRES PARA HOMBRES SIN TIERRA"*.

Al crear la migración hacia la vertiente oriental mediante la vialidad, al habilitar el anfiteatro andino, ese gran anfiteatro que comienza en los Andes bolivianos, sigue en arco de círculo prácticamente por Perú, Ecuador, Colombia, hasta llegar a los contrafuertes andinos de Venezuela, ese anfiteatro tiene varios escalones que van desde el nivel del mar, prácticamente del llano amazónico cálido e inundable y muy deficiente en determinados materiales, hasta las cumbres andinas donde existen prácticamente las nieves eternas. Y en los escalones intermedios, todas las condiciones climáticas, todas las condiciones ecológicas, prácticamente todas las condiciones geológicas que hacen de la Cordillera un verdadero muestrario de minerales y que le dan, en el pie del monte andino, una enorme riqueza probada y potencial en petróleo, que comienza en Venezuela, no sólo en Maracaibo, sino en la cuenca misma del Orinoco; que continúa en Colombia, en las cercanías de Puerto Asís; en el Ecuador, en Lago Agrio, como realidades ya comprobadas; en el Perú, en el río Santiago, en la perforación que espero próximamente me permitan hacer un anuncio que llenará de optimismo a mi pueblo; en el río Aguaytía, con sus reservas de gas ya comprobadas; en la Zona del Mano, la frontera con Bolivia, en una selva que tiene estudios geológicos sumamente pro-

misorios; en torno a la Ciudad de Santa Cruz de la Sierra, en Bolivia, donde se han hecho hallazgos recientes tan importantes en el campo petrolífero, para seguir hasta el sur, hasta la propia Argentina, donde es conocida también la condición petrolífera de la región de Neuquén.

Tenemos, pues, en este anfiteatro andino, no solamente la posibilidad de escoger el clima que más convenga, desde el clima africano hasta el clima siberiano, pasando por una Costa Azul amplísima, que en vez de mirar al océano, mira al mar verde de la Selva Amazónica. Y aquí tenemos no sólo potencial hidroeléctrico, sino riquezas petrolíferas, posibilidad de someter la petroquímica, y demanda evidente y en gran escala de productos metálicos y, principalmente, del acero.

Hace pocas semanas, y también algunos meses atrás, fui a esta región acompañado de representantes diplomáticos de países hermanos, para inaugurar algunas estructuras que se construyeron en homenaje a sus países. Y basta fijar los casos: el Puente Colombia, por ejemplo, inaugurado hace tres meses con acero traído de Austria ¿por qué de Austria? Primero, porque ese país es productor y segundo porque ese país está en condiciones de financiar. Tal vez si la estructura hubiese sido comprada al contado, otro mercado nos habría suministrado el material.

Salimos a inaugurar otra estructura, el Puente Bolivia, primero, y el Puente Ecuador, después. Estructuras de concreto pre-prensado donde el acero se hermana con aquel otro material, con el que poco puede hacerse a menos que se disponga de acero, el hormigón armado. Y a lo largo de todo este camino, el requerimiento fundamental, la alcantarilla metálica que simplifica grandemente la construcción, que la hace mucho más rápida y que por consiguiente disminuye el tiempo necesario para preparar el terreno y la tierra a la gran captación de las nuevas poblaciones que pueden bajar de la serranía donde la estrechez de los valles ofrece poca expectativa y donde la fecundidad de la fa-

milia determina un aumento demótico considerable, constante, es el acero. Pero a lo largo de esta nueva estructura con todos sus requerimientos de construcción, encontramos en las aldeas —porque no hay allá grandes ciudades, sino ciudades cuando mucho medianas— sistemas de construcción ya obsoletos. Nuestra vieja Moyobamba, por ejemplo, que podríamos llamar la gran punta de lanza colonizadora, ciudad prehispánica, recientemente fue víctima de un terremoto, fuerte evidentemente, pero que ha hecho más daño de lo que habría ocasionado de haber estado la ciudad construida con sistemas modernos. Prácticamente todos estos pueblos tienen que construirse de nuevo y allí la presencia del acero es fundamental. Mi propio país, en la costa, está produciendo acero, pero en cantidad insuficiente. Cuando venga la gran demanda en la vertiente oriental de los Andes, seguramente estaremos en condiciones de poder tratar con Venezuela, por un lado, con Brasil y con Argentina, por el otro, para que ellos nos abastezcan de un material que, de venderlo nosotros mismos venciendo la cordillera, seguramente sería recargado por la razón del flete a tan grande altitud como la andina, donde los cruces están siempre por encima de los 4.000 metros, con la única excepción de nuestro paso de Porcuya, en el norte, que está en los 2.144 metros. Hay pues una oportunidad de verdadero intercambio, de verdadero mercado común, pero sobre la base de que primero se creen los mercados y se coloque a la población no donde quiere estar, sino donde debe estar y donde puede estar en condiciones de prosperar y de ofrecer una vida mejor y de elevar el nivel general en Sudamérica.

Por otro lado, toda esta región a desarrollarse agrícola y ganaderamente para suplir el déficit de carne y de grasa, además de la variedad de fibras que se cultivan en estas regiones de la vertiente oriental, toda esta región podría ofrecer productos minerales esenciales para la industria del Brasil, de la Argentina, de Venezuela, principalmente, ya que nuestras industrias de los países del Pacífico tienen otros radios de

acción y otro mercado, ya que existe una poderosa industria metalúrgica pionera en Chile, ya que también en Colombia sus extensos y ricos valles al otro lado de los Andes, no en la vertiente oriental sino más bien hacia el Oeste, constituyen en sí mercados crecientes y sumamente vigorosos.

Sólo cuando nuestros pueblos comprendan que el panamericanismo debe tener expresiones de este tipo, de ayuda mutua, de colaboración intensa, habremos superado la actual dependencia de otros mercados y de otras naciones industriales. Desde luego, no tenemos un afán de alejamiento, o de ruptura de relaciones comerciales, que son para nosotros sumamente importantes, pero tenemos que tener en cuenta que las naciones de Europa, con las cuales hemos comerciado tanto, tienen una estrecha vinculación con África, y por consiguiente tienen grandes campos productores de materia prima que son altamente competidores de nuestras materias primas. Debemos tener presente que la geografía nos obliga a buscar mediante la ocupación de nuestro propio continente, la creación de un mercado en la esperanza de que Sudamérica pueda ser mañana lo que ha llegado a ser hoy la gran nación de los Estados Unidos. En gran parte autosuficiente, con prácticamente un comercio internacional inevitable y necesario en nuestro mundo moderno, pero practicándolo en una escala en que no se pone en peligro la actividad y el desarrollo del país cuando surgen los inevitables conflictos bélicos o las rivalidades económicas en un mundo todavía muy sujeto a esta clase de vaivenes.

Por eso, señor delegado de la Argentina, Presidente del Instituto Latinoamericano del Fierro y del Acero, por eso señores delegados, el Perú se siente feliz de albergar en esta capital a personalidades tan distinguidas, con la seguridad de que esto no será solamente un encuentro social y personal sumamente grato, sino sobre todo que dará lugar a sesiones fructíferas de profunda meditación, que tal vez constituyan el cimiento de un hemisferio más vigoroso, más próspero y más feliz para mañana.

Conferencias económicas y científicas

Comentario introductorio.

El VIII Congreso Latinoamericano de Siderurgia inició su programa de trabajos con la dictación de conferencias económicas y científicas a cargo de distinguidos expositores, quienes abordaron temas de alto interés.

La sesión dedicada a las dos conferencias sobre temas económicos fué presidida por don Enrique Ayala Medina, Director de Mercados y Ventas de la Compañía de Fierro y Acero de Monterrey, México. El presidente de Debates fué el Ing. Aníbal Gómez, Secretario General de ILAFA. Esta sesión se verificó el lunes 16 de septiembre a partir de las 16 horas.

En esta sesión el Dr. Charles B. Baker, Secretario General de International Iron and Steel Institute fué invitado por ILAFA para dictar una conferencia sobre "La situación mundial del acero y la creación del I.I.S.I.". El señor Baker es ciudadano de Estados Unidos de América y de profesión abogado, habiendo cursado sus estudios profesionales en la Escuela de Derecho de la Universidad de Chicago. Antes de su nombramiento como Secretario General del International Iron and Steel Institute, ocupó diversos cargos de importancia en la United States Steel Corporation, culminando su carrera en esta empresa como Subgerente Administrativo para Asuntos Internacionales, en 1963. Fué nombrado secretario del International Iron and Steel Institute en Enero de 1968.

Después de la conferencia del señor Baker, se suscitó un debate en el que participaron los señores Aníbal Gómez, Secretario General de ILAFA y Presidente de Debates como ya se indicó, y los señores Jack Miller del Battelle Memorial Institute de EE. UU.; Charles Urruela de Siderurgia Venezolana, SIVENSA; Edward Michaelis de Brassert Oxygen Technik de Suiza; Carlos Martínez Vidal de la Comisión Nacional de Energía Atómica, Argentina y Enrique Ayala Medina de Cía. Fundidora de Fierro y Acero de Monterrey, México. El texto de la conferencia del señor Baker y una síntesis del debate a que dió origen, aparecen en el cuerpo del presente capítulo.

La sesión prosiguió con la conferencia del Dr. Alberto Sommaruga, Secretario General de la Compañía Siderúrgica de Chimbote S.A., SOGESA, Perú sobre el tema "Responsabilidad de ILAFA frente al porvenir de la Industria Siderúrgica Latino Americana".

El Dr. Sommaruga, peruano, es Abogado y Secretario General de la Sociedad Siderúrgica de Chimbote, como ya se dijo y en la cual presta servicios desde 1957. Cursó estudios de Abogacía en la Universidad Mayor de San Marcos de Lima, Perú, en la cual se graduó en 1950. Fue catedrático de dicha Universidad en 1956 y 1960.

El Dr. Sommaruga ha participado en las reuniones celebradas en octubre de 1964 y mayo de 1966 en Montevideo por el Grupo de Estudio creado por ALALC en virtud de una recomendación de la CADI (Comisión Asesora para el Desarrollo Industrial) para examinar las posibilidades de la integración siderúrgica en América Latina.

En Abril de 1965 y Junio de 1967 concurrió a las reuniones celebradas por la propia CADI, en las cuales se trataron problemas relacionados con las perspectivas y posibilidades de la integración de la Industria Siderúrgica y participó, además, en la primera reunión sectorial de la Industria siderúrgica. El Dr. Sommaruga ha venido siguiendo, en consecuencia, desde su inicio, el desarrollo de las actividades que se han realizado bajo los auspicios de la ALALC para buscar la fórmula de integración del Sector Siderúrgico, y ha demostrado, además, en todo momento un interés decidido por las actividades de ILAFA.

Al término de su conferencia hubo un debate cuya síntesis se reproduce más adelante y en el cual participaron el propio Presidente de debates, Ing. Aníbal Gómez, y el señor Charles Urruela de Siderurgia Venezolana SIVENSA.

La sesión de Conferencias Científicas se verificó el miércoles 18 de septiembre a partir de las 9 horas, siendo presidida por el Ing. Manuel Ugarteche, Presidente del Directorio de la Sociedad Siderúrgica de Chimbote S. A., SOGESA Perú. Actuó como Presidente de Debates el Ing. Fernando Aguirre, Presidente del Directorio de la Compañía de Acero del Pacífico, CAP, Chile.

En esta sesión participó en primer término el Prof. Sven Gustav H. Eketorp, Director del Departamento de Metalurgia Ferrosa del Instituto Real de Tecnología de Suecia, quien disertó sobre "La teoría metalúrgica y su aplicación en tecnología".

El profesor Eketorp cursó sus estudios profesionales en el Instituto Real de Tecnología en Estocolmo, graduándose de Ingeniero Metalúrgico. Posteriormente, en 1947 perfeccionó sus estudios en la Universidad de Leghii en Estados Unidos.

Durante su actividad profesional ha desempeñado los siguientes cargos:

En 1942 y hasta 1943 actuó en el Instituto para la Investigación de Metales en métodos de análisis espectrográficos e investigaciones sobre escorias de hornos Siemens-Martin. Después estuvo en la Högans-Billesholms A.G., a cargo de la operación del departamento de fierro-esponja hasta 1945 y después como Jefe del departamento metalúrgico hasta 1949. Las fases de trabajo que supervisó el profesor EKETORP fueron producción de fierro esponja, fierro en polvo, carburo de silicio.

En 1949-1951 estuvo en la Ontario Research Foundation (Canadá) y a fines de 1951 estudió en el IRSID (Francia) los procesos de concentración y reducción de minerales.

En el Stora Research Center trabajó desde 1951 a 1960; hasta 1958 como Ingeniero Investigador y a partir de 1958 como Jefe del Departamento Metalúrgico. En 1960 fué nombrado Profesor del Departamento de Metalurgia Ferrosa en el Instituto Real de Tecnología.

Ha sido Presidente de la Asociación de Siderurgistas de Suecia y miembro de diversos comités de investigaciones tecnológicas, entre ellos de los Comités para sinter, arrabio y acería. En 1963 actuó en el grupo directivo del Comité Internacional para investigaciones del horno de cuba baja (arrabio).

Ha publicado numerosos trabajos sobre procesos de reducción de mineral de fierro, desulfuración de arrabio, aceración, desgasificación al vacío y otros aspectos de la tecnología siderúrgica.

La presentación del tema de la conferencia del Prof. EKETORP fué sumamente novedosa y despertó un gran interés, como quedó demostrado en el debate a que dió origen y en el cual participaron el presidente de debates Ing. Fernando Aguirre y los señores Eduardo R. Abril de IKA Renault, Argentina, Jacques Astier del Instituto de Investigaciones de la Siderurgia Francesa (IRSID) Francia; Sol. L. Gertsman del Depto. de Energía, Minas y Recursos del Gobierno del Canadá y el señor Jack Miller del Battelle Memorial Institute de EE. UU. La síntesis del debate se reproduce más adelante y contribuyó a realzar los indiscutibles méritos de la conferencia del Prof. EKETORP.

A continuación siguió la conferencia del Dr. Jorge Sábato, Gerente de Tecnología de la Comisión Nacional de

Energía Atómica de Argentina sobre "Necesidades y Posibilidades de Investigación Tecnológica en América Latina". En ausencia de su autor, quien no pudo concurrir al Congreso por inconvenientes de última hora, fué leída por el Ing. C. Martínez Vidal que pertenece también a la mencionada Comisión.

El Dr. Jorge A. Sábato se ha especializado en Metalurgia en la Universidad de Birmingham, Inglaterra. Durante su carrera ha ocupado los cargos de Director de la Escuela de Verano de Física (organizada por la Comisión Nacional de Energía Atómica y la Organización de Estados Americanos); Profesor del curso sobre "Deformación Plástica y Teoría de Dislocaciones", Universidad de Chile; Director del Primer Curso Panamericano de Metalurgia Nuclear, Buenos Aires. Además ha dictado clases y participado en seminarios en diversas universidades y "colleges", como profesor invitado por la National Science Foundation y actuó como expositor invitado ante el Comité de Ciencias y Astronáutica del Congreso de EE. UU. (Washington), en el seminario "Applied Science and World Economy".

Actualmente se desempeña como Gerente de Tecnología de la Comisión Nacional de Energía Atómica.

La conferencia del Dr. Sábato fue solicitada especialmente por ILAFA, teniendo en cuenta el programa iniciado por el Instituto en colaboración con la Organización de Estados Americanos (OEA) y la Comisión Económica para América Latina (CEPAL) de las Naciones Unidas, para configurar y estudiar la posibilidad de un programa multinacional de Investigaciones Siderúrgicas en el ámbito de América Latina. El Dr. Sábato posee un excelente dominio del tema en sí mismo y de sus implicaciones, como pudo apreciarse a través de su conferencia, cuyo texto y la síntesis del debate correspondiente aparecen en el presente Informe.

En ausencia del Presidente de Debates, Ing. Fernando Aguirre, actuó como tal en la conferencia del Dr. Sábato el Ing. Eduardo Gana, Gerente del Instituto Chileno del Acero (ICHA), participando en el debate además del señor Gana, el Ing. Eduardo Abril de IKA Renault de Argentina. Reproducimos más adelante el texto de la conferencia y la síntesis del debate respectivo.

La situación del mercado mundial del acero y la creación del IISI

Charles B. Baker

del International Iron and Steel Institute

Secretario General

Agradezco sinceramente la oportunidad de participar en este Octavo Congreso de ILAFA y me siento particularmente honrado por la invitación a dirigirme a ustedes aquí hoy, en esta conferencia económica. Traigo los saludos del Dr. Hans-Günther Sohl, Presidente del IISI, y también, como ustedes saben, Presidente de August Thyssen-Hütte AG, de Alemania. El Dr. Sohl me ha pedido que exprese a ustedes que lamenta sinceramente que le haya sido imposible aceptar la invitación de ILAFA a asistir a este Congreso y dirigir la palabra a los participantes. Logan T. Johnson, Vicepresidente del IISI y Presidente del Directorio de Armco Steel, también envía sus saludos. Como representante del IISI transmito a ustedes los mejores deseos de nuestros miembros de todo el mundo, junto con sus votos por el mayor éxito de estos trabajos.

La siderurgia mundial está pasando hoy por un período de dinamismo. La situación es muy estimulante, sin duda, pero con frecuencia resulta también turbadora y da origen a muchas interrogantes acerca del porvenir del acero; interrogantes relativas a la siderurgia como industria; su estructura futura y su lugar en la economía mundial; su nueva tecnología en desarrollo; su sitio como material industrial básico; el crecimiento y desarrollo futuros de su mercado; la creciente complejidad de los problemas del comercio internacional del acero y de los productos de acero.

Muchos aspectos de estas materias se estudiarán y analizarán en este Congreso de ILAFA aquí, en Lima, en esta semana. Sin embargo, dudo de que algún relator presente se encargue de cubrirlos todos. No lo intentaré yo, desde luego. El Instituto que ustedes forman ha tenido la gentileza de invitarme a hablar sobre un tema económico de mi elección. No trataré de abusar de este privilegio; intentaré limitar mis observaciones a un tiempo razonable, para analizar algunas de las implicaciones económicas más amplias de la industria siderúrgica internacional, especialmente en cuanto ellas se relacionan con los adelantos actuales, y para contarles a ustedes lo que es el IISI y lo que estamos tratando de hacer en relación con esas implicaciones.

El International Iron and Steel Institute —al que se conoce más como el "I.I.S.I."— se fundó en Bruselas en julio del año pasado. El primer acontecimiento principal en la vida de la nueva organización fue el Primer Congreso Anual realizado en Bruselas, ciudad sede del IISI, en noviembre. Muchos de ustedes habrán leído u oído hablar de esta reunión en que se encontraron, por primera vez en la historia, los principales ejecutivos de todas las empresas siderúrgicas más importantes del mundo occidental. Este Instituto también estuvo representado en esa oportunidad, por la persona del señor Juan V. Zapata, de la Compañía de Acero del Pacífico, de Chile.

No me extenderé acerca de lo ocurrido en el primer Congreso. Nuestro Instituto ha publicado las actas y todo el que no las haya visto y desee hacerlo puede obtener un

ejemplar si escribe al IISI en Bruselas. Según todos los participantes la reunión fue un éxito y constituyó un espléndido punto de partida para la carrera del IISI.

Ahora que ha pasado casi un año desde esa primera reunión y que estamos atareados en preparar el Segundo Congreso Anual que se realizará en Los Angeles el mes que viene (21, 22 y 23 de octubre), creo que podremos apreciar mejor la importancia de la fundación del IISI. Radica, me parece, en el reconocimiento espontáneo de la necesidad de una mayor comprensión y acercamiento internacionales entre los principales productores de acero del mundo occidental. En cuanto se propuso, la idea de crear una organización internacional recibió el apoyo entusiasta de las principales empresas siderúrgicas de los Estados Unidos, Alemania, Japón, el Reino Unido, Francia, Italia, el Benelux, Canadá, Australia y África del sur. Estas empresas son los miembros fundadores del IISI.

Desde que se organizó el Instituto en el año pasado el número de sus miembros ha aumentado, y creo que continuará aumentando. Tenemos miembros nuevos en Suecia y España y hemos recibido solicitudes de incorporación de una media docena de otros países. El señor Argenis Gamboa, Presidente de la C. V. G. Siderúrgica del Orinoco, de Venezuela, ha expresado el deseo de su empresa de incorporarse a nuestro Instituto como Miembro Asociado, y el asunto se tratará en la Asamblea Anual que se celebrará en Los Angeles el mes que viene. Además, las cuatro empresas siderúrgicas principales de Brasil, han anunciado su deseo de ingresar al IISI como Miembros Regulares, lo que también se verá en Los Angeles el próximo mes.

No creo del caso entrar en detalles aquí acerca de los requisitos para ser miembro del IISI ni de cómo se procede para elegirlos. Pero puedo decirles a este grupo de productores siderúrgicos que forman ILAFA y que representan como lo hacen la gran mayoría de los productores de acero de la parte meridional de este hemisferio, que sé que a nuestros miembros les sería grato recibirlos en el IISI, como miembros de la denominación que corresponda en cada caso.

Tiene un interés más inmediato para ustedes hoy, sin duda, conocer lo que está haciendo esta nueva organización y cuáles son sus planes para el futuro. Como se anunció en el Primer Congreso Anual de Bruselas, nos hemos trazado un programa algo ambicioso. Nuestras cinco actividades principales serán:

1. constituir un foro para debatir libre y abiertamente nuestros problemas y oportunidades;
2. establecer y mantener contacto con las numerosas organizaciones del mundo libre que están relacionadas con nuestra industria;
3. reunir, valorar y distribuir informaciones estadísticas;

4. promover el uso del acero en todas formas y establecer al IISI como portavoz autorizado de nuestros miembros en el cuadro internacional;
5. realizar diversos estudios económicos.

Como lo expresé en mi discurso del año pasado, en Bruselas: "... el propósito y la meta del International Iron and Steel Institute es contribuir al bienestar global y a los intereses de las industrias siderúrgicas del mundo, y promoverlos. Ello se hará mediante la reunión de nuestros conocimientos, experiencias y competencia técnica combinados, con el fin de intercambiar informaciones e ideas que tengan utilidad para los miembros, y con el fin de difundir a todos los interesados informaciones y datos relativos al progreso y desarrollo de estas industrias siderúrgicas".

La función principal del IISI, la de servir de foro para sus miembros, quedará de manifiesto nuevamente el mes que viene, en el Segundo Congreso Anual. Se han enviado invitaciones a este Congreso no sólo a los miembros sino a los ejecutivos principales de otras empresas siderúrgicas e instituciones que nos parece que puedan tener interés en asistir. Este año el Congreso se desarrollará en forma diferente, habrá discusiones en mesa redonda, simposiums y, en general, un foro más libre para debates y preguntas. Me parece que algunos de los temas serán de especial interés para ILAFA. Aquí hay ejemplares disponibles del programa preliminar para aquellos que los deseen.

A la función de contacto atribuimos gran importancia. Lo demuestra el hecho mismo de que esté yo aquí hablando del IISI y de sus actividades. Nos agradaría que el propio ILAFA ingrese con el tiempo al IISI como Miembro Afiliado, para estrechar aún más este contacto. Estoy seguro de que sería una medida de provecho mutuo.

Nuestro programa estadístico se encuentra todavía en pañales; intencionalmente queremos caminar antes de tratar de correr a toda velocidad. Nuestro primer esfuerzo está dedicado a compilar y publicar datos acerca del comercio internacional de productos siderúrgicos sobre una base periódica. Se publicarán trimestralmente y abarcarán todas las cifras comerciales disponibles en los países que interesen a nuestros miembros. Más adelante esperamos ampliar nuestros programas estadísticos con inclusión de datos acerca de producción, ventas, empleo, aranceles aduaneros y reglamentos comerciales, equipos e instalaciones, etc. No hace falta señalar que para este trabajo el IISI debe contar con el 100% de la colaboración de sus miembros, sean ellos regulares, asociados o afiliados, para obtener la información necesaria.

Con el tiempo, el IISI deberá llegar a convertirse también en vehículo principal de comunicación, tanto interna entre los miembros como externa entre el Instituto y el mundo exterior. Continuamente debiéramos tratar de transmitir la importancia y el significado de la industria siderúrgica dentro de la economía mundial, y debiéramos asignar una importancia prioritaria al papel vital que desempeñan las utilidades en una industria siderúrgica sana. Debíamos también esforzarnos por transmitir la interrelación de los problemas de las industrias siderúrgicas del mundo y demostrar en qué forma los adelantos que ocurren en una zona afectan, para bien o para mal, las demás zonas del mundo. Y, por supuesto, debiéramos estimular enérgicamente el uso del acero y de los productos de acero en todas partes.

Muchas otras cosas podría decir acerca de los programas del IISI, la estructura de sus comités, el establecimiento de una fuente amplia de referencias para uso de bibliotecas, etc. Sin prolongar más esta parte de mi charla, espero haberles presentado un cuadro del IISI tal que les inspire el deseo de profundizar el tema. Tendré el mayor agrado en conversar con cualquiera de ustedes acerca de nuestro Instituto, aquí en Lima, durante la semana.

Pero ahora, si me lo permiten, quisiera referirme al cuadro internacional actual y hacer algunos comentarios de tipo general que espero tengan aplicación a la industria latinoamericana.

La producción mundial de acero ha aumentado constantemente en los últimos 20 años: de 156 millones de toneladas métricas de acero crudo en 1948 a casi 500 millones en el año pasado, y a una cifra probable de 525 millones en 1968. Tan notable crecimiento de la producción significa, por cierto, un aumento igualmente espectacular en el consumo de productos de acero en todo el mundo, aumento que en el mismo período se produjo a razón de 5% al año, en promedio.

Un crecimiento del mercado de esta envergadura, impresionante aún junto al de las "industrias del crecimiento" más aparatosas, constituye una prueba muy tranquilizadora de que el porvenir del acero dentro de la economía mundial es brillante. A pesar de ello, hoy en día hay quienes manifiestan serias dudas a este respecto. Y, sobre la base de las cifras disponibles, hay motivo por lo menos para una seria preocupación y reflexión.

Porque basta mirar los balances publicados por las empresas siderúrgicas del mundo para encontrar mucho que meditar. En medio de una creciente producción de acero —de una "bonanza" mundial, si se quiere— ninguna empresa, o casi ninguna, está ganando un ingreso adecuado sobre la inversión.

Es muy difícil establecer comparaciones financieras valederas, debido a la gran diversidad de factores que entran en juego y a los distintos métodos de informar. Pero, sin tratar de comparar cifras no comparables, es posible ilustrar lo anterior con referencias a lo que dicen los productores siderúrgicos en sus memorias anuales, discursos, entrevistas de prensa, y declaraciones públicas. Sin excepción, todos se quejan de costos elevados, bajas utilidades o claras pérdidas; de ingresos por lo general desfavorables. Cabe descontar cierta proporción de estas quejas, supongo, porque ningún hombre de negocios, por definición, está jamás contento con los resultados. Pero estimo que cuando el coro es tan unánime como lo es hoy, podemos aceptar el hecho de que los productores siderúrgicos, en general, están insatisfechos con los resultados actuales, y preocupados acerca de sus perspectivas financieras futuras.

Además, si analizamos la valoración de los productos siderúrgicos en términos de los precios corrientes de las acciones siderúrgicas en el mercado, parecería que la comunidad inversionista no ve con gran entusiasmo las perspectivas futuras de utilidades en la siderurgia.

Esta es, pues, la paradoja de la industria siderúrgica: un brillante futuro en términos de crecimiento y desarrollo del mercado; un futuro incierto en términos de recompensa financiera. ¡Evidentemente, lo que hay que hacer es mantener el primero y a la vez corregir el segundo!.

El problema básico de la siderurgia está tan bien reconocido y documentado que casi no hace falta reexponerlo: es el exceso de capacidad, o lo que muchos piensan que es exceso de capacidad. Para emplear la frase algo más elegante que ahora está en uso: hay un desequilibrio entre la oferta y la demanda. En realidad, no es la *existencia* de un exceso potencial de capacidad la que causa el desequilibrio; es más bien la *utilización* de la capacidad existente, la cual, en el hecho, puede que no exceda del margen razonable sobre el uso corriente que exige un mercado mundial en constante crecimiento. ¿Cómo se produce, pues, el desequilibrio? Se puede encontrar una clave significativa en el reciente crecimiento extraordinario del comercio internacional del acero.

Como se dijo antes, la producción y el consumo de acero en el mundo han aumentado a una velocidad muy rápida desde 1948, lo mismo la capacidad mundial de producción. En la primera mitad de 1968 la producción alcanzó una tasa anual record estimada en 535 millones de toneladas métricas. Aunque tal vez 20 millones de toneladas del total representan cantidades tomadas de la segunda mitad de 1968, debido a negociaciones laborales en curso en los Estados Unidos, la tasa de producción alcanzada en la primera mitad indica una capacidad para producir entre 580 y 590 millones de toneladas al año.

Al mismo tiempo, cabe destacar que a partir de 1950 las exportaciones mundiales de acero han aumentado mucho más rápidamente que el consumo. De hecho, se han cuadruplicado: de 15,8 millones de toneladas de productos a 61,0 millones de toneladas en 1967. (Inclusive el comercio interno de la CECA).

En otras palabras, una proporción creciente del acero producido en los diversos países del mundo, una de cada seis toneladas en el momento actual, se despacha a otros países.

Ahora bien, ¿el comercio internacional es algo maravilloso! Es la sangre misma que anima el desarrollo económico. Y el aumento del comercio internacional es el objetivo que cada país más fervientemente desea. Pero ¿acaso una mayor interpenetración de los mercados entre los principales países productores de acero representa un auténtico crecimiento del comercio internacional? Porque aquí es donde se nota el crecimiento, y está ocasionando serios problemas en los mercados mundiales del acero: erosión de la estructura de los precios, ingresos insuficientes por concepto de ventas; y finalmente dan origen a peticiones de protección en una u otra forma. Nada tiene de malo, por cierto, la interpenetración de los mercados, como tal, entre los productores principales de acero, siempre que ello no origine distorsiones ni condiciones dispares de competencia.

Pero existe una tendencia creciente hacia el nacionalismo y proteccionismo económicos. Es un fenómeno que se presenta en un período de elevado crecimiento económico y niveles records de comercio internacional. Y es motivo de seria preocupación para todos.

En la siderurgia las presiones en pro de medidas defensivas resultan más agudas en aquellos casos en que, aunque la capacidad interna es suficiente para satisfacer las necesidades del consumo nacional, el balance comercial del acero se vuelca hacia el déficit, y las importaciones toman una parte creciente del mercado. Es el caso de los Estados Unidos, país que ostenta la distinción única e infortunada de ser al mismo tiempo el mayor productor de acero del mundo y el *único* netamente importador entre los principales productores del mundo.

Pero aún en casos menos extremos se están intensificando las presiones defensivas. Tal parece ser el caso en Francia y Alemania, donde crece el descontento en torno al aumento en la penetración de los mercados por parte de las importaciones provenientes de otros miembros de la Comunidad. Cabe observar, sin embargo, que ambos países son netamente *exportadores* de acero, aunque el equilibrio de las exportaciones de acero en Francia ha ido disminuyendo y su comercio de acero, con los otros 5 países del Mercado Común, se encuentra en déficit.

Sólo el futuro podrá decir si se encontrará una solución racional a este espinoso problema, cuándo ocurrirá esto, y la forma que tendrá esta solución. Un convenio internacional de productos para el acero, entre los principales países productores, podría ser una posible vía que ya se ha mencionado. Además, a mi modo de ver, la internacionalización de la industria siderúrgica mundial, mediante la formación de empresas o participaciones multinacionales es un paso conveniente que podría paliar algunos de los dolores y presiones de las interpenetraciones deformadoras.

Identificar el problema y el origen de la dificultad es bastante sencillo; encontrar una solución resulta algo más difícil. Pero creo que una cosa se puede decir: ninguna solución artificial será suficiente. Si se ha de corregir el desequilibrio del comercio internacional del acero, ello debe ocurrir en forma natural. Esto quiere decir que, a la larga, las presiones del exceso de producción deben absorberse con aumentos en el consumo de acero y con el ejercicio de una mayor autorestricción por parte de los vendedores, que están al tanto de las amplias consecuencias que tiene su comportamiento en el mercado.

Y esta hipótesis abarca muchos aspectos de la industria. Tal vez el más importante para el bienestar futuro de la industria se centra en la *tecnología*. Esta es la zona en que se han producido los cambios más dramáticos en los

últimos años, y parece seguro que los adelantos técnicos de los próximos 20 años causarán cambios aún mayores en el complejo siderúrgico mundial.

Estoy cierto de que ustedes conocen demasiado bien estos cambios veloces y dramáticos: en los procedimientos, en las fuentes de materias primas, en el mejoramiento de las instalaciones y economía del transporte, el progreso en la preparación de las materias primas, la aparición de aceros nuevos y mejores, nuevos productos y aplicaciones destinadas a responder al desafío de los materiales competidores. Todo ello es testimonio del hecho de que aunque vieja en edad, nuestra industria continúa siendo joven, estimulante y dinámica, y su porvenir está pleno de oportunidades y promesas, pese a algunos de los tristes presagios de que se le hace objeto.

En parte como consecuencia de estos adelantos técnicos y en parte —cosa quizás más importante— por razones económicas poderosas, nuestra industria se encuentra actualmente en medio de otra fase significativa de transformación. Me refiero aquí a los profundos cambios en la estructura de la industria y en la organización de la comercialización que están en pie en este momento. Esta reestructuración está tomando formas diferentes según las circunstancias especiales: fusiones a nivel nacional, tales como las que se cumplieron últimamente en Francia, Alemania, y que ahora se proponen en Japón; el establecimiento de organizaciones conjuntas de ventas, como los cuatro "contors" de ventas que se han formado en Alemania, y como la organización central de exportación que se ocupará de la comercialización de los productos alemanes; la centralización de la producción y de la distribución, como en el caso de la industria siderúrgica nacionalizada de Gran Bretaña; la creación de empresas conjuntas dentro de las fronteras nacionales y cruzándolas, como en el caso de SIDMAR, en Bélgica; y, últimamente, la adquisición de empresas siderúrgicas hechas por "conglomerados", como en el caso de Jones & Laughlin, en los Estados Unidos.

Como se indicó antes, estas tendencias que surgen hacia las concentraciones y los acuerdos de complementación, se deben principalmente a motivos económicos. Tienen su origen directamente en las condiciones existentes del mercado, que se caracterizan por una competencia extensa e intensa, no sólo entre los propios productores de acero, sino también entre el acero y los materiales alternativos. La erosión consiguiente de la estructura de precios y utilidades ha obligado a prestar una atención especial y creciente a la economía de escala y a la eficiencia, tanto en la producción como en la distribución.

Uno de los problemas más difíciles que son inherentes a la industria siderúrgica, que exige gran inversión de capital, es el largo período de anticipación que se necesita para realizar las decisiones relativas a inversión. La necesidad de contar con una planificación previa y una labor de ingeniería cuidadosa, el largo plazo de entrega de las instalaciones muy especializadas, la complejidad de las construcciones pesadas, todos estos factores determinan que deben pasar alrededor de cinco años entre el momento de tomar la decisión de invertir y el de poner en marcha la nueva instalación.

Irónicamente, cumplidos los cinco años, las condiciones a menudo han cambiado, sea en términos de técnicas de producción, necesidades del mercado o condiciones de competitividad, de modo que cuando la nueva instalación se ha puesto en marcha y ha transcurrido el período inicial, puede que ya no sea apropiada para realizar la tarea para la cual fue instalada, o bien la tarea ha cambiado. En tales circunstancias, la empresa goza de una flexibilidad muy limitada para decidir lo que hará. La nueva instalación está terminada, lista para trabajar; la inversión está hecha, pidiendo a gritos que se la utilice; el dinero que se gastó para construir la instalación es probablemente prestado en gran parte, y los intereses de la deuda se acumulan día a día.

No queda más que una cosa que hacer, en realidad: poner a trabajar la instalación y vender el producto, en algu-

na parte, de algún modo, a algún precio. Todo ello con los resultados y efectos que son conocidos de todos. Y esta pequeña historia se puede repetir una y otra vez. ¿Cómo hacer frente a este problema? Sólo mediante una mejor planificación, mejor previsión, mayor atención a las condiciones futuras probables en el momento de tomar las decisiones de invertir... con 5 años de anticipación.

¿Cómo, por ejemplo, se predice el nivel probable de los precios de los productos siderúrgicos, con 5 años de adelanto? Evidentemente, no es posible hacerlo con precisión. Lo mismo puede decirse de la mayoría de los costos de producción, incluso aquel factor importantísimo, los costos de la mano de obra. No obstante, se pueden hacer algunas observaciones basadas en la experiencia pasada: los costos de la mano de obra subirán; otros costos subirán, paliados en parte por los menores costos derivados de los esfuerzos de racionalización y de la mejor productividad; los precios del acero subirán algo, pero no lo suficiente para contrarrestar los aumentos en los costos directos.

¿Y el mercado? ¿La gama de productos? De esto podemos estar seguros: los productos siderúrgicos se tornarán más complejos; los aceros especiales destinados a diversos propósitos y aplicaciones especiales adquirirán mayor importancia; las exigencias de calidad serán más estrictas.

Para la siderurgia, la reducción de los costos de producción constituye una condición de su supervivencia en los años que vienen. Para poder conservar su posición como primer material industrial, contra competidores tan agresivos como el aluminio, el titanio, el hormigón, los plásticos, los materiales cerámicos y el vidrio, debe el acero incesantemente innovar, mejorar y responder a las crecientes necesidades de sus clientes; y siempre a precios competitivos. Y al mismo tiempo debe ganar utilidades suficientes para realizar las inversiones de capital necesarias, producir las innovaciones y proporcionar un ingreso adecuado a quienes invirtieron en la industria.

Uno titubea en hacer observaciones acerca del porvenir de la siderurgia aquí en el continente sudamericano. Muchos factores influyen en el desarrollo y crecimiento de la industria siderúrgica aquí. En ciertos casos son los mismos que en otras partes del mundo. Pero hay, además, otros factores que son exclusivos de la situación de ustedes aquí y que difícilmente podría valorar quien no la conozca íntimamente.

Desde lejos, sin embargo, surgen ciertos puntos. En primer lugar, aquí en América Latina tienen ustedes la fortuna de no haber tomado algunas de las decisiones que han tenido resultados lamentables en otras partes del mundo. Pueden ustedes responder que recibirían con agrado un desarrollo tal de sus mercados internos que les permitiera tomar semejantes decisiones erradas o no.

Señalo que es de vital importancia, para el desarrollo futuro de la industria siderúrgica de América Latina, no repetir el modelo de decisiones que ha conducido al actual

desequilibrio entre la oferta y la demanda que existe en otros lugares. Hoy, se encuentran ustedes en un punto crítico. Hoy, el mercado es superior, por un pequeño margen, a la capacidad de producir. Hoy, tienen ustedes tal vez muchos problemas, pero ellos no incluyen lo que hay que hacer con un acero que no necesitan las economías internas, ni con aquellas instalaciones de producción que no se aprovechan plenamente en el desarrollo de los procesos de industrialización.

Disfrutan ustedes de un cierto grado de protección contra el frío aliento de la competencia internacional. Y sí que puedo decirles que afuera hace frío. Al mismo tiempo ustedes "disfrutan" (si se me permite usar esta palabra con este sentido) de la ventaja de tener precios mundiales muy bajos en aquellos productos que ustedes no fabrican o en que la producción interna no es suficiente para satisfacer las necesidades locales. Cuánto tiempo puede durar esta situación es cosa que ignoro. Sí parece que los planes de expansión que ya se han anunciado y las decisiones de inversión que ya se han tomado pueden afectar el actual equilibrio más bien drásticamente, en ciertos casos. Sin embargo, hasta donde sea posible, espero que aquí en América Latina ustedes puedan mantener un equilibrio entre sus posibilidades de producción y las necesidades de sus mercados en crecimiento. Seguramente, en este momento, ustedes los de América Latina se encuentran en situación de aprovechar el actual desequilibrio entre la oferta y la demanda mundiales de acero, más bien que tomar el riesgoso y costoso camino de ampliar sus propias capacidades demasiado rápidamente. ¡Si hemos de aprender una lección de la situación actual del mundo, ella es que el construir plantas con el objeto de exportar fuera de las zonas naturales de comercialización es construir sobre arenas movedizas!

Hay un punto sobre el cual no cabe desacuerdo: todo productor de acero, grande o pequeño, dondequiera que esté situado, necesita promover el crecimiento del mercado del acero de manera más agresiva y más efectiva que nunca.

No se puede hacer demasiado en este sentido.

Sé que ILAFA y sus miembros, y otros en otros lugares, están activamente empeñados en esta campaña. Aquí también los plazos de anticipación desempeñan un papel importante. Generalmente, necesitan varios años de trabajo: a veces cinco o hasta diez años, antes de que los beneficios de la labor de promoción aparezcan en el mercado. En esta zona de la promoción y el desarrollo de los mercados es donde las asociaciones regionales como ILAFA y un instituto internacional como el IISI pueden llevar a cabo parte de su trabajo más fundamental: la coordinación y la asesoría en la labor de promoción y desarrollo de los mercados que realicen sus miembros.

Anticipamos una estrecha colaboración con ustedes en este y otros campos de mutuo interés.

Responsabilidad de ILAFA frente al porvenir de la industria siderúrgica latinoamericana

Dr. Alberto Sommaruga

Secretario General de la

Soc. Siderúrgica de Chimbote S. A.

(SOGESA), Perú.

El Congreso que hoy se ha inaugurado, como lo expresó esta mañana el Presidente del Instituto, da oportunidad para hacer un paréntesis en nuestros cotidianos quehaceres, y reflexionar sobre las labores realizadas para tratar de divisar las rutas y los rumbos que individual y corporativamente habremos de seguir en los años venideros. Detengámonos en esta ocasión para revisar algunos aspectos de la responsabilidad que solidaria y conjuntamente nos alcanza como miembros de ILAFA frente al porvenir de la industria siderúrgica, en una época y en un mundo que, como se nos señalaba hace unas horas, se caracteriza "por una interdependencia nunca antes conocida".

La revisión o balance, en este caso, en lugar de limitarlo al habitual período de los últimos doce meses, normalmente comprendido por las memorias institucionales, abarcará un lapso más amplio, para enfocar algunos temas económicos conectados con el pasado y el futuro de nuestras empresas y con las correspondientes responsabilidades nacionales y continentales.

Los resultados del diálogo que desearía suscitar, y en el cual espero se dejen escuchar las voces de hombres con experiencia y preocupación por los problemas de la industria siderúrgica, podrían contribuir al avance de la industrialización de nuestras economías.

Examinemos pues, algunas cuestiones suscitadas por el reto de la integración latinoamericana, que tanto preocupa, enjuiciando las perspectivas y posibilidades de una obra de conjunto que puede potenciar nuestras actividades individuales, si se logra conciliar, en beneficio de las empresas y de los usuarios de sus manufacturados, las ventajas de una independencia nacional, a la cual no se puede renunciar en las actuales circunstancias, con la vinculación y la interdependencia que constituyen los signos del mundo moderno.

En primer término reconocemos que el proceso de integración es un fenómeno económico universal e irreversible. No necesitamos insistir sobre el particular ni acudir a las expresiones que con tanta frecuencia se han venido empleando para despertar entusiasmos o lograr movilizaciones colectivas de conciencia.

Hay sin embargo, un asunto de gran importancia para examinar, después de aceptar que la integración es conveniente y que deben intensificarse los esfuerzos para alcanzarla. Es necesario encontrar el camino que debe recorrerse, pues el que se ha seguido hasta la fecha, en particular en lo que corresponde a la industria siderúrgica, a pesar de los estudios realizados y de las reuniones celebradas, de los puntos de vista expuestos, de las sugerencias formuladas, no

ha alcanzado resultados concretos a lo largo de 8 años de diálogo prolongado y a veces apasionado, o sea durante un lapso que, por coincidencia, es casi el mismo tiempo de existencia de ILAFA y de la ALALC.

Esto, desde luego no nos debe llevar a la conclusión de que el camino de la integración para la industria siderúrgica es intransitable.

En el sector siderúrgico puede alcanzarse cierto grado de integración si se acepta que debe sujetarse a determinados límites. Será necesario que, para emprender este camino, tengamos no sólo una generosa disposición de espíritu, sino también una clara conciencia de las realizaciones que se pueden esperar en este campo. Si no se pretenden resultados espectaculares, si se acepta la posibilidad de avances moderados, si se admite como lo señalaba en alguna ocasión Fernando Aguirre la posibilidad de intercambios comerciales en pequeños volúmenes y para tratar de compensar demandas ocasionales con excedentes temporales, aún cuando ésto no satisfaga a la opinión ortodoxa de los técnicos más exigentes, se podrá avanzar hacia la integración de nuestro sector en forma positiva y eficaz.

Queda, sin embargo, por determinar cuál es el modus operandi que se debe seguir para lograr estos resultados. Tratemos pues de encontrar el camino a seguirse para alcanzar este objetivo.

Personalmente, considero que las rutas seguidas hasta este momento, o sea las fijadas en el Tratado y por las instituciones y regulaciones que se han venido dictando para complementarlo, no han sido las más adecuadas.

No pretendo sumarme al coro de los detractores del Tratado ni agregar mi voz a las de quienes lo consideran inoperante y que por ésto la ALALC está en crisis. Al respecto, me limito a afirmar que el instrumento de Montevideo es susceptible de reajustes en su planteamiento y seguramente habrá de ser objeto de las correcciones necesarias.

No debe olvidarse que el Tratado nació con limitaciones. Que, como se ha señalado, fué el resultado de una transacción al nivel del mínimo denominador entre muchas fuerzas políticas y económicas en conflicto. Fué un intento para lograr un objetivo. Si éste no se ha alcanzado en forma completa, no conviene insistir por un camino que aún cuando pudo parecer el mejor, el más directo, no conduce a la meta sino a impases y obstáculos difíciles de salvar con frases o declaraciones. Es preferible variar rumbos, pues lo que importa es avanzar, aún cuando sea a un ritmo menor del anhelado, antes de correr el riesgo de quedar detenidos entre frases y discusiones a veces inconducentes.

Por otra parte, la crisis que confronta en este momento ALALC es consecuencia de problemas y situaciones propias de nuestro continente.

Todos hoy reconocen que las condiciones geopolíticas que determinaron la creación del Mercado Común Europeo no son las que se ofrecen en el caso de América Latina. No se puede pretender que los resultados alcanzados en Europa se puedan obtener en la misma forma, con la misma facilidad o con similares dificultades en el marco geográfico y social latinoamericano. Somos dos realidades distintas y las soluciones y aún los medios para alcanzarlas deben ser diferentes.

Tal vez uno de los motivos por los cuales esta crisis parece más grave, es precisamente el que se puede atribuir a la exagerada confianza que se ha tenido al pretender aplicar con poco realismo, fórmulas y recetas que funcionaron en Europa, para el caso de América Latina.

Considero también que puede resultar útil despejar algunos prejuicios, que se han venido generalizando con relación a la importancia del rol correspondiente a la integración comercial como factor de progreso y de desarrollo de nuestro sub-continente. Al respecto, advertimos que se ha venido empleando con frecuencia, al tratar estos temas, una terminología altisonante, plagada de frases rituales, como las que se consignan en el preámbulo del Tratado de Montevideo. Encontramos allí enfáticas afirmaciones sobre la persuasión, la conciencia, el convencimiento, la seguridad, la certeza, la decisión y la animación que inspiraban a los representantes de los Gobiernos reunidos, en febrero de 1960, en la Conferencia Intergubernamental en el momento de suscribir este instrumento.

Estas expresiones constituyen, al parecer, el origen de una corriente de retórica sobre la integración. A esas afirmaciones han seguido muchas otras declaraciones, discursos y mociones, insistiendo sobre el mismo tema. Un sostenido esfuerzo periodístico encaminado a formar una conciencia colectiva, ha contribuido también, en forma apreciable, al clima de expectativas en torno a las posibilidades y a los resultados que se pensaba obtener de la integración.

La realidad, como es notorio, no ha satisfecho las esperanzas ni ha correspondido a los objetivos alcanzados hasta la fecha, habiéndose, en consecuencia, generado un sentimiento de frustración y de pesimismo.

Sin embargo, si nos detenemos a reflexionar, advertimos que no podían esperarse grandes logros ni siquiera en el momento inicial. En efecto, si se hace un análisis de las divergencias que se registran entre el Preámbulo del Tratado y el texto de este instrumento legal, se podía llegar a la conclusión que, desde su aprobación estaba destinado a brindar modestos frutos en vez de asegurar las radicales transformaciones ansiadas.

Como se ha señalado, existe una curiosa dicotomía entre las principales secciones de este instrumento, que se limitan a establecer las bases para una expansión gradual del comercio intra-regional y las elevadas metas que se definen en su preámbulo. Las afirmaciones altisonantes de éste, y toda la retórica que de ellas se deriva, han contribuido a forjar esperanzas sobre la eficacia del Tratado, que hoy parecen resultar frustradas.

Habría sido la persuasión, que aparentemente tuvieron los representantes de los Gobiernos, de lograr la condición fundamental para que los países de América Latina alcanzaran o aceleraran su proceso de desarrollo económico, mediante la ampliación de las dimensiones de los mercados nacionales, y por la simple obra de eliminación gradual de las barreras al comercio intra-regional, lo que habría influido en la formación de este clima que el Tratado no justificaba.

Al respecto, resulta en cambio útil reconocer que el desarrollo de los países caracterizados por un "crecimiento económico hacia afuera" no se puede alcanzar con medidas de carácter internacional, tendientes a activar y reorientar corrientes comerciales languidecientes, o con estímulos financieros externos. La experiencia de esta "década del desarrollo" ha confirmado que tales medidas tienen un carác-

ter complementario y de simple apoyo al verdadero esfuerzo de desarrollo consistentes en una transformación social interna.

El Tratado, como hemos indicado fue fruto de una transacción entre muchas fuerzas políticas y económicas que habían entrado en conflicto y, en consecuencia, nació con las limitaciones que determinan su escasa operatividad. En efecto, para aprobarlo fue necesario conciliar los intereses de los países de mayor desarrollo industrial y, en particular, de los que durante cerca de un siglo habían concentrado el grueso comercio intra-regional, con los del resto de las naciones del continente. Asimismo, fue forzoso armonizar las tendencias que prevalecían en el seno de la CEPAL con la posición de los defensores del Poder político y económico nacional.

Fue también preciso encontrar un acuerdo entre los técnicos nacionales y los intereses creados, especialmente en los países que contaban con los sectores industriales más avanzados.

Por último, fue menester tomar en consideración intereses y actitudes de países ajenos a la región y de organizaciones internacionales. Este conjunto de factores y condiciones inevitablemente determinaron las serias limitaciones que acusa el Tratado.

Por otra parte, debe señalarse que las relaciones comerciales entre los países de América Latina no han desempeñado nunca un papel muy significativo en la vida económica de la región que se orienta —como hemos apuntado— en su actividad productiva, fundamentalmente a la exportación de materias primas. En consecuencia, resulta ambicioso esperar que el instrumento de Montevideo pueda variar en forma radical la situación económica del Continente y pretender que el desarrollo económico y social de América Latina se alcanzara tomando como punto de partida una actividad comercial muy modesta y simplemente estimulada por un proceso de gradual eliminación de las barreras comerciales.

En un análisis recientemente efectuado por Miguel Wionczek, Asesor del Centro de Estudios Monetarios Latinoamericanos, Investigador del Centro de Estudios Internacionales de la Universidad de Harvard y perspicaz observador de las vicisitudes de la ALALC, se ponen de relieve otras de las causas por las cuales la Asociación ha funcionado con tantas limitaciones. Señala Wionczek que la enorme diferencia entre los niveles relativos de desarrollo económico de los países miembros es probablemente un elemento de gran influencia en el entorpecimiento y lentitud de la marcha de la Asociación.

Igualmente, considera que mientras el programa de integración regional cuente, como pieza principal de su mecanismo, la liberación del comercio, muy poco se podrá esperar de este sistema. En este sentido coincide con don Vasco Tristao da Cunha, Ministro de Relaciones Exteriores del Brasil, cuando se celebró la primera reunión de Cancilleres de los países de la ALALC, quien afirmaba que la integración de América Latina no vendrá en forma espontánea, ni surgirá simplemente con la desaparición de los obstáculos comerciales, pues la ampliación de nuestro espacio económico no es suficiente para el cumplimiento de las esperanzas nacidas con la constitución de la Zona de Libre Comercio.

En relación a la actividad industrial se suele señalar también que la falta de una programación o de una política regional es otro de los factores que influye en el estancamiento y escaso dinamismo del Tratado. Se ha sostenido que los encargados de la dirección de las políticas nacionales parecen no tener conciencia del abismo que existe entre el creciente aumento de los costos sociales, referidos a los rendimientos económicos de programas orientados hacia adentro de cada país, y que a larga tales políticas habrán de paralizar a la mayoría de los países Latinoamericanos, a no ser que se emprendan programas de industrialización regional que difícilmente pueden surgir en forma automática de la liberación del comercio intrazonal.

Estas opiniones, respetables y aún válidas en un plano teórico resultan sin embargo impracticables en las actuales circunstancias del medio latinoamericano.

Ni siquiera cabe, para estos efectos traer a colación ejemplos de otros ambientes, como el Mercado Común Europeo, tan frecuentemente propuesto como modelo, para defender la tesis de la ventaja o de la conveniencia de la programación industrial a nivel regional. No solamente porque, como sostiene Sidney Dell, las conclusiones válidas en regiones políticamente estables y económicamente avanzadas, pueden hallarse muy alejadas de la realidad si se intenta aplicarlas en el escenario distinto de la América Latina, sino también porque aún en el marco del Mercado Común las prácticas de programación y de planeación a nivel regional no habrían dado todos los resultados que se esperaban.

No quiero aquí suscribir la tesis de Raymond Aron, sobre un supuesto fracaso del Mercado Común Europeo, que en su opinión se debería atribuir precisamente a la falta de coordinación en el plano industrial. Es, sin embargo, necesario reconocer que los miembros de esta Comunidad, en lugar de propiciar políticas económicas coordinadas, al parecer seguirían buscando, como ocurre en nuestro continente, soluciones internas o nacionales. Estas opiniones aportadas por observadores dignos de crédito, aún cuando puedan ser controvertidas, no dejan de ser significativas.

Por otra parte, si nos referimos a nuestra industria, podrían recordarse, aún cuando se pongan en tela de juicio, las afirmaciones de Paul Fabra respecto a la CECA, quien sostiene que para el carbón y el acero ya no hay mercado común, pues de hecho el Estado Mayor de Luxemburgo no ejercería ninguna actividad positiva para organizar el movimiento del carbón, desde el momento que cada Gobierno habría vuelto a tomar por su cuenta la dirección de estas operaciones. Exacto o exagerado es este un parecer que nos conduce a reflexionar sobre nuestra realidad y sobre la viabilidad de las exhortaciones de quienes nos proponen las experiencias europeas como ejemplos a seguirse.

Finalmente, aún cuando se puedan refutar los informes acerca de una supuesta cartelización de las empresas alemanas productoras de acero, en respuesta a un plan siderúrgico francés, convenido directamente entre los industriales de ese país y su respectivo Ministerio de Hacienda, o con relación a un supuesto repliegue sobre sí mismas de las siderúrgicas europeas, en todo caso podemos llegar a la conclusión de que también en Europa se registran dificultades en materia de programación industrial y que estas al parecer no son fáciles de superar.

Respecto al Mercado Común "industrial" en Europa, se ha llegado a sostener que no pasa de una unión arancelaria, y se afirma, que la unión económica no se puede conseguir sólo cambiando las dimensiones del mercado sino rectificando el sentido de los esfuerzos y el estado de ánimo, lo cual resulta todavía algo muy difícil de lograr, aún en el viejo continente.

Estas consideraciones conllevan la conclusión que si la programación industrial de carácter supranacional no ha dado los resultados que se esperaban, después de casi 10 años de funcionamiento del Tratado de Roma, es bastante más difícil esperar que pueda lograrse en nuestro subcontinente.

Este panorama sólo confirma las dificultades que se ofrecen para alcanzar los objetivos de la integración y que las metas ideales no se pueden lograr fácilmente, con simples declaraciones enfáticas, entusiastas, o con apelaciones a los efectos milagrosos de las "decisiones" o de las "voluntades políticas".

Desde luego, la tarea debe acometerse. Es necesario intentar acciones conjuntas aún cuando sea en reducida escala, sin esperar resultados espectaculares, ni confiando haber descubierto en la integración la panacea para los problemas del subdesarrollo del continente y, sobre todo, si no se pretende atribuir a la industria siderúrgica latinoamericana la

responsabilidad del estancamiento de América Latina o la virtud de determinar en forma decisiva el futuro desarrollo continental.

Nuestra industria es importante, es un factor dinámico en el contexto económico de la región y las estadísticas de su crecimiento lo acreditan en forma fehaciente. Es una actividad que da vida a muchas otras industrias, pero por sí sola no puede resolver los problemas del continente ni determinar el "despegue" que todos los países anhelan. No está llamada a cumplir el rol catalizador que pudo ejercer en el marco europeo, la CECA, por circunstancias históricas y políticas propias de ese medio, y en particular, por el clima reinante en los primeros años de la década del 50, que le permitió jugar un papel decisivo en la constitución del Mercado Europeo Común.

Hagamos, pues, frente a nuestra responsabilidad sectorial y tratemos de resolver los problemas de la siderurgia latinoamericana, cumpliendo el rol que nos corresponde como factores integrantes del panorama económico latinoamericano, sin enfatizar sobre la importancia que puede tener o que se le debe conceder a esta industria. Los alcances de la acción que podrá ejercer en el conjunto de la economía latinoamericana se podrán apreciar a través de los resultados, más que por las afirmaciones que podamos hacer las partes interesadas.

Aceptados estos presupuestos resulta interesante efectuar una revisión de la posición que ha observado el Directorio del Instituto, en relación a los problemas de la siderurgia continental y respecto a las posibilidades de su integración.

Al efectuar este examen, podemos comprobar que las posiciones asumidas por el Instituto ante el desarrollo de la industria siderúrgica y, en particular, frente a la integración, se caracterizan por una continuidad coherente y por su realismo.

Desde la declaración formulada con ocasión de la segunda reunión del Directorio de ILAFA, celebrada en Mar del Plata, el Instituto ha venido manteniendo una posición definida sobre estos asuntos. En esa ocasión recomendó que al estudiarse los programas de desarrollo nacionales, se considera de primera prioridad la instalación y ampliación de las plantas siderúrgicas con el propósito de asegurar el autoabastecimiento de América Latina en lo que respecta a los productos de acero, de sus materias primas y de los productos semi-terminados.

En Caracas, en 1963, el Directorio del Instituto emitió un nuevo pronunciamiento, esta vez en relación a los problemas de integración, considerando que debían establecerse medidas adecuadas para asegurar la colocación de la producción local y que para cubrir los déficits de abastecimiento siderúrgicos que pudieran registrarse, se otorgue preferencia a la producción similar del área.

En 1964, en Santiago de Chile, se aprobó otra declaración del Directorio del Instituto, recomendando la conveniencia de propiciar acuerdos de complementación con el objeto de lograr el mejor y mayor uso de las capacidades instaladas "buscando las adaptaciones, interpretaciones y modificaciones necesarias dentro del espíritu del Tratado". Asimismo, se aconsejó adoptar acuerdos de coordinación entre las empresas siderúrgicas con el fin de obtener las mayores economías posibles en el uso de la capacidad de producción actual y proyectada. Se sugirió también propiciar la complementación entre empresas y países, así como la de proyectos que tengan en cuenta el tamaño óptimo de las plantas, el mejor aprovechamiento de los recursos naturales de la zona y los factores de mercado y producción. Igualmente, se planteó la conveniencia de establecer un régimen de concesiones temporales por plazos definidos dentro de la ALALC. Se insistió en lo expresado por el Directorio en la reunión de Caracas en Julio de 1963, en el sentido de asegurar en todo momento la colocación de la producción siderúrgica local y de que para cubrir déficits zonales se otorgue preferencia a la producción similar de las industrias del área. Especial importancia reviste la parte de la declaración relativa a que "la industria siderúrgica es fundamental para

el desarrollo de las economías nacionales, resultando, por tanto, irrenunciable la aspiración de los países de decidir su grado de autoabastecimiento para alcanzar ese desarrollo".

Más recientemente, el Instituto, durante la sesión de Directorio, celebrada en Lima, en Abril de 1967, formuló otro pronunciamiento en el que se consideran dos planes, uno de acción inmediata y otro para el futuro.

El primero sugiere la adopción de concesiones temporales directas mediante acuerdos de complementación a plazo fijo y la promoción de acuerdos entre fabricantes que permitan incrementar el comercio intrazonal obteniéndose los grados de especialización pertinentes con los indudables beneficios generales para la Zona.

Se hizo también hincapié en la necesidad de eliminar todos los obstáculos que puedan dificultar el comercio intrazonal y, en particular, los derivados de normas legales de carácter aduanero, financiero, monetario y medidas unilaterales que desvirtúen el propósito de "un sano y leal comercio intrazonal".

Por lo que respecta al programa de acción futura se sugirió la conveniencia de incorporar al Tratado de Montevideo "un convenio base" de características concretas a fin de establecer, con el acuerdo de los miembros o de los que se adhieran a él, los sistemas racionales de integración. Se acordó también recomendar el establecimiento de un organismo internacional de los países de la Zona, de carácter consultivo y coordinador, encargado de velar por el cumplimiento del acuerdo.

Frente a esta línea de conducta observada por ILAFA, en su condición de organismo representativo de la industria siderúrgica de América Latina, en relación a los problemas y a las posibilidades de la integración sectorial, se advierte la subsistencia de una estructura caracterizada por tantos compartimentos como países donde se desarrolla esta actividad, y que en todos ellos se tiende a cierta autarquía económica originando el cargo del "consiguiente desprecio de los beneficios de una economía en escala".

Se ha señalado con frecuencia que la mayor parte de las plantas siderúrgicas del continente deben atender a la producción de una gama muy diversificada de productos, en cantidades inferiores a la que sería económico producir de acuerdo a la técnica más desarrollada, con elevaciones en los costos por los cambios frecuentes en los procesos y en los programas de producción.

Sin embargo, como lo ha precisado el Directorio de ILAFA y lo han reconocido muchos observadores de la realidad latinoamericana, entre otros, por Fernando Aguirre, (cf. ILAFA de Febrero de 1964), es preciso admitir que todos los países se preocupan por tener cierto grado de una industria siderúrgica que permita el abastecimiento de sus necesidades nacionales, en lo relativo a las actividades de la construcción, la transformación y la industria manufacturera. Afirmaba Aguirre que en casi todos los países se considera que esta industria es una "industria escuela", básica para el futuro take off industrial. Por esta razón resulta difícil pensar en programas siderúrgicos latinoamericanos que "dejen marginados sólo con la condición de consumidores, a países que requieren, de acuerdo a sus propios planes industriales, la instalación de plantas de acero, aunque comiencen con pequeñas unidades para laminar".

Sobre el particular, es oportuno señalar que también la Comisión Económica para América Latina, en un reciente estudio de la economía siderúrgica del continente y al proponer las bases para llegar a posibles acuerdos en materia de integración señalaba los siguientes presupuestos:

- 1.—Mantener y desarrollar la producción siderúrgica en todas las localizaciones actuales.
- 2.—Establecer la posibilidad de participación de los países de menor desarrollo económico y sin producción siderúrgica actual.
- 3.—Aceptar el concepto de un desarrollo siderúrgico equilibrado a través de toda América Latina, para evitar una concentración regional de la industria.

Resulta pues que las bases fijadas por CEPAL como punto de partida para una aproximación a los objetivos de la integración no discrepan de las posiciones adoptadas por ILAFA.

Por el contrario, coinciden con la declaración de Santiago. O tal vez se han inspirado en lo que el Directorio del Instituto afirmó en 1964, con respecto al carácter fundamental de la industria siderúrgica para el desarrollo de las economías nacionales, y en cuanto a la "irrenunciable aspiración de los países de decidir su grado de autoabastecimiento para alcanzar el desarrollo".

Esta coincidencia entre los pronunciamientos del Instituto, al enjuiciar el esfuerzo siderúrgico de los países latinoamericanos, con la posición adoptada por la CEPAL, confirman la ponderación y el acierto de la actitud que ILAFA ha venido observando frente a los asuntos de la integración.

Es particularmente interesante destacar que la CEPAL reconoce que cualquier acuerdo sobre integración siderúrgica debería prever el establecimiento de condiciones destinadas a permitir a todos los países, aún los de menor desarrollo, la posibilidad de cumplir con sus aspiraciones "plausibles y lógicas de mejorar su posición económica y resolver su problema de suministro de artículos siderúrgicos".

En efecto, acepta expresamente la CEPAL —como lo postuló ILAFA— la posibilidad de que un país que carece de industria siderúrgica pueda establecer una fábrica de tamaño pequeño, adecuadamente protegida contra cualquier forma de competencia regional, que le permita evolucionar y colocar esta planta dentro de las mismas condiciones de los demás.

Por otra parte, los técnicos de la Comisión Económica para América Latina afirman, que en la integración, tendrían que evitarse la concentración o el crecimiento exagerado de la industria siderúrgica en determinados países para evitar que a la larga pudieran resultar los únicos beneficiados del sistema, produciendo de esta manera graves desequilibrios y traumatismos en la economía general de la región, si un país determinado se revelara en el futuro como decisivamente más fuerte en la competencia. Todo esto, desde luego, sin limitar las iniciativas, las condiciones o aptitudes naturales de un país mejor dotado para que pueda desarrollarla y obtener de ellas el beneficio correspondiente. No se pretende, pues, imponer esquemas rígidos en la expansión de la industria sino por el contrario se acepta el concepto de un desarrollo siderúrgico equilibrado, en función de los mercados, de los recursos y de la tradición siderúrgica del país, como un medio de buscar la base de un entendimiento que permita avanzar hacia un proceso de integración sin metas utópicas ni resistencias injustificadas.

Con esta perspectiva, si nos detenemos en el examen de la gama de los productos siderúrgicos del continente, para determinar dónde es posible buscar soluciones de conjunto, advertimos en primer término la presencia de tres campos susceptibles de diferenciación.

El primero, constituido por un conjunto de artículos, laminados mercantiles, planchas, tubos, alambros, etc. que se fabrican en todos los países donde la industria opera y que aún pueden ser producidos por aquellos en los cuales todavía no han emprendido la actividad siderúrgica. Estos manufacturados son de gran demanda en la vida económica de cada nación. Normalmente se fabrican en cantidades adecuadas a las necesidades de cada mercado interno. Sus precios son relativamente reducidos, en comparación con otros tipos de productos siderúrgicos más elaborados como los que pueden agruparse en la categoría de los "aceros especiales".

En este campo, evidentemente no se puede esperar que se concierten acuerdos o convenios que representen un avance para la integración. En este sector, como en algunas otras ocasiones ya se ha sostenido, sólo se puede esperar, y propiciar, la conciliación de los eventuales y temporales déficit y excedentes de producción, mediante concesiones, limitadas en el tiempo y en el volumen, sin que éstas puedan tener, para los efectos de la mecánica del Tratado de Montevideo,

incidencia alguna en cuanto a la posición del comercio recíproco. No se puede aspirar ni esperar que en este campo se logren resultados distintos.

Existe un segundo conjunto de productos siderúrgicos, que actualmente es fabricado sólo en determinados países, verbigracia rieles, barras para molienda de minerales, tubos sin costura, etc., para los cuales podría implantarse un régimen similar al que se sugiere para los manufacturados del primer grupo, o sea, la adopción de un sistema de concesiones temporales, limitadas a un lapso determinado y a volúmenes prefijados, pero con mayores alcances en lo que respecta a su duración y al movimiento comercial. Este sistema que se ha planteado en diversas ocasiones y que recientemente se ha contemplado durante la última sesión de Directorio en Caracas, tendría la ventaja de permitir, a los países que cuentan con equipos e instalaciones adecuadas, la producción de estos materiales durante un lapso más prolongado que en el primer caso, para suministrarlos a los países que no los fabrican, aprovechando mejor su capacidad instalada. Esta situación puede mantenerse mientras los países que actualmente no fabrican tales manufacturados no consideren conveniente o necesario emprender su producción. Si en algún país no se llegara a iniciar en forma definitiva la fabricación de alguno de estos productos, este mercado podría quedar abastecido por los centros que cuentan con las instalaciones correspondientes. Sin embargo, debe dejarse establecido que los precios de estos materiales se fijarían dentro de ciertos límites competitivos a fin de no perjudicar los intereses de los usuarios, o consumidores del país importador.

Al respecto, es esencial aceptar que una eventual protección zonal en ningún caso puede revestir el carácter de subsidio para la industria exportadora, pues cualquier entendimiento de esta índole no puede lesionar a los eventuales importadores del área, y si no se quiere correr el riesgo de obligar a los afectados a buscar fuera de la Zona los manufacturados que necesitan.

Quedaría, finalmente, un tercer grupo de materiales que actualmente no se fabrica en ningún país de la región, o que se produce sólo en algunos, pero en pequeña escala y en forma poco rentable.

Con relación a estos manufacturados podrían realizarse estudios para determinar la conveniencia y posibilidad de planear la instalación de plantas que podrían desarrollarse con la perspectiva del marco regional. Consideramos que este tipo de programación industrial, que naturalmente requerirá de la participación de los sectores gubernamentales de cada uno de los países de la región, sólo podrá lograrse con el respaldo de los estudios y las opiniones del sector empresarial del área.

Es precisamente en este campo, donde la acción conjunta de los empresarios siderúrgicos puede manifestarse en forma más efectiva y donde ILAFA está llamada a cumplir, como institución gremial de los industriales del continente, una acción decisiva. El trato y el vínculo que hemos venido estableciendo desde la fundación del Instituto y, en especial, en el curso de las reuniones anuales como ésta, puede aprovecharse y canalizarse a través de ILAFA para plasmar en realizaciones concretas las inquietudes que compartimos, buscando una coordinación y un entendimiento que resultaría provechoso para todos los integrantes de este sector industrial.

Todo lo que se puede hacer en favor de un acercamiento y de una eventual integración de algunas áreas de nuestra industria requerirá de nuestra participación activa. Esto no importa que nos sustituyamos en las responsabilidades que corresponden a los órganos políticos nacionales o regionales, pero, estimamos que la acción gubernamental para tener resultados positivos habrá de tener en cuenta los puntos de vista de los industriales.

En efecto, si se insiste en pretender que las decisiones de carácter político deben ser acicate o constituir imperativos para realizaciones en el campo de la integración industrial, no se avanzará sino aparentemente, pues los gobiernos pueden y deben orientar las actividades de la comunidad que

rigen, pero sin ignorar sus realidades, necesidades o posibilidades. Al adoptar decisiones que pueden afectar a una industria, debe auscultarse la opinión de la parte interesada, que, en nuestro caso, está representada a nivel continental por el Instituto Latinoamericano del Fierro y el Acero.

En este aspecto, ILAFA puede intensificar la acción que ya ha venido ejerciendo y asumir un rol, si cabe, más activo y, la opinión del Instituto, o sea la de sus miembros, de los integrantes de su asamblea, deberá continuar escuchándola cuando se aborden temas de integración industrial del sector siderúrgico.

La institución que nos acoge debe tener el carácter de consultor a nivel continental en todos los asuntos relativos a las posibilidades de la integración siderúrgica.

Sin pretender nuevos reconocimientos oficiales, las opiniones que puedan ser vertidas por el Instituto, las declaraciones que emita el Director de ILAFA, o las conclusiones que sus Asambleas anuales puedan formular en materia de coordinación de la industria o sobre armonización de programas, con miras a la integración, deben continuar poniéndose en conocimiento de todos los gobiernos y de los organismos regionales para que sean estudiadas y tomadas en cuenta.

Además de estos problemas relacionados con la integración, que institucionalmente nos preocupan profundamente, considero que es también necesario abordar algunos otros aspectos de la actividad que ha desarrollado y puede cumplir ILAFA, acerca de los cuales conviene formular algunas sugerencias con el propósito de examinar otras posibilidades de acción futura.

Hay algunas actividades que creo resultarían provechosas para muchos asociados de ILAFA, si hubiera consenso en emprenderlas.

Una de éstas es la relativa al aprovechamiento de la capacidad tecnológica existente en nuestras empresas. Ya en algunas de las reuniones celebradas por asociados del Instituto, se había comenzado a contemplar la conveniencia de crear un organismo de tipo consultivo que pudiera prestar servicios a los asociados en la solución de problemas de orden técnico, que frecuentemente suelen presentarse en las operaciones industriales.

No creo, sin embargo, que un organismo de carácter permanente pueda, en las actuales circunstancias, resultar viable y efectivo. Importaría el compromiso de montar una estructura burocrática forzosamente onerosa, pues sería necesario contar con un plantel de técnicos y de especialistas cuyos servicios tal vez no serían aprovechados plenamente, al menos durante los primeros tiempos, por todos los asociados.

Sin embargo, hay algo que se puede hacer en este orden de actividades en forma útil y a la vez económica. En todas las plantas del continente prestan servicios técnicos y expertos de reconocida competencia que pueden y que de hecho ya en la práctica han brindado su ayuda y asesoramiento al personal de otras empresas afiliadas al Instituto.

Podría, en consecuencia, resultar útil, sin originar desembolso para ILAFA la formación de un Registro de técnicos y expertos, en las distintas especialidades de la industria siderúrgica, que trabajan en las empresas asociadas. Estos hombres de vasta experiencia, que se han ido formando con su esfuerzo y con su capacidad en nuestras organizaciones, que dominan los secretos de la técnica de operación de las plantas y equipos, que representan un invalorable capital de conocimientos científicos y de dominio de la tecnología industrial, podrían permitir la organización de un servicio de recíproco y mutuo asesoramiento para todas las empresas afiliadas al Instituto, que podría funcionar en forma sistemática y regular.

Esta actividad de asesoramiento que ya se presta mediante intercambio de becarios y con las facilidades que se otorgan para que profesionales y técnicos de una empresa puedan entrenarse o capacitarse en las instalaciones de otras fábricas, podría ampliarse con un acuerdo, en virtud del cual cada compañía se comprometería a autorizar que, por un período no mayor de 60 a 90 días al año, uno o más

de sus técnicos, puedan prestar servicios como asesores o consultores de otra empresa afiliada al Instituto, para solución de determinados problemas técnicos.

La labor del Instituto se limitaría a la formación del Registro de estos especialistas en el cual figuraría, además del curriculum vitae de cada experto, sus experiencias técnicas o las referencias de los trabajos realizados.

Esta información, periódicamente actualizada por ILAFA, sería puesta en conocimiento de las empresas asociadas, por medio de boletines informativos ad hoc, para su eventual aprovechamiento.

En caso de presentarse en una compañía problemas técnicos que pudieran ser resueltos o afrontados por los expertos inscritos en esta nómina, se formularía, por el conducto del Instituto la solicitud a la empresa donde presta servicios el profesional, cuyos servicios se requiera, a fin de que sea temporalmente destacado para colaborar con la empresa solicitante.

Este registro de expertos, resultaría así una contribución a la solución de problemas que confrontan nuestras empresas, permitiendo un amplio aprovechamiento de la capacidad técnica de los profesionales que en ellas trabajan.

La labor de ILAFA en este aspecto, se reduciría a la formación y a mantener al día el Registro que se propone, y a actuar como intermediario oficial entre la empresa que solicita la colaboración de un asesor y la que pueda facilitarlo temporalmente. Formalizando el pedido de asesoramiento y eventualmente cobrar el honorario estipulado para abonar al técnico que lo preste la asignación correspondiente, de acuerdo con la tarifa o el sistema usual que para tales efectos se pudiera aprobar.

En caso de organizarse este sistema, no importaría, desde luego, la necesidad de prescindir de los servicios de las grandes organizaciones consultoras que se vienen utilizando en muchas de nuestras empresas, pues este tipo de asesoramiento se continuará utilizando cada vez que el caso o la necesidad lo requiera.

Para concluir, desearía referirme a otro aspecto de las actividades que el Instituto ha ya emprendido, y que podría intensificar con el apoyo de sus asociados. Es este el relativo a la investigación científica y tecnológica. No es necesario relieves la importancia de este tipo de actividad para el porvenir de la industria contemporánea, ni recordar en qué forma y con qué frecuencia pueden quedar obsoletos o en condiciones de ineficacia operativa, los equipos instalados en muchas fábricas como consecuencia de las innovaciones y los avances técnicos y científicos.

Por otra parte, todos los asociados tenemos plena conciencia de las dificultades, de los costos y de los esfuerzos que demandan programas de investigación científica o tecnológica. Es difícil pensar en desarrollos de envergadura, susceptibles de aprovechamiento en base a esfuerzos individuales o de una sola compañía. Sin embargo, algunas veces estas utopías se han convertido en realidad y la capacidad de trabajo y el talento creador de los hombres de empresa del área han logrado ensayar con éxito y emprender en escala industrial, procedimientos como el de la producción del hierro esponja, para mencionar uno de los ejemplos de mayor importancia, que acreditan que estos caminos no están cerrados en nuestro medio, a pesar de las dificultades que existen.

Es notorio que la investigación no es sólo cuestión de talentos, que florecen en todas partes, sino de recursos económicos y de organización sistemática para aprovecharlos.

Nuestra tarea en este campo debería orientarse precisamente en la búsqueda de los campos o áreas donde pudieran haber mayores probabilidades o más conveniencia para emprender esfuerzos conjuntos de investigación científica o tecnológica.

En la reunión de Punta del Este, en abril de 1967, se señaló, entre otras metas, precisamente la de crear un programa regional de desarrollo científico y tecnológico. OEA, CEPAL e ILAFA han establecido ya algunos contactos preliminares en previsión de constituir un equipo que se encargaría de formular un programa.

Existen precedentes de esfuerzos exitosamente coronados, interés oficial y preocupación a nivel de organismos internacionales que están dispuestos a colaborar con el nuestro. Creo que este es uno de los caminos que debemos intentar, una de las mayores responsabilidades que enfrentamos en un mundo de avances técnicos y científicos incesantes que no se detiene y que irremediablemente condena a quienes no se mantienen al ritmo, al tono vital de los tiempos, a un progresivo debilitamiento y a una creciente incapacidad para hacer frente a los desafíos de una competencia cada vez más dura y agresiva. En el marco de la Institución que nos acoge, con el respaldo que pueda obtener y bajo su coordinación, podemos pensar en emprender estas tareas que son vitales para el porvenir de nuestras empresas. Insisto pues, para concluir que nuestra conciencia gremial, el espíritu de cuerpo que nos caracteriza, los vínculos fraternales que nos aunan, deben expresarse o traducirse en un esfuerzo sostenido y permanente para potenciar y ampliar los marcos y campos de acción de una Institución creada por nosotros y para nosotros.

Fundamentos y aplicación de la metalurgia ferrosa

Por: *Sven Eketorp,*
Profesor de Metalurgia Ferrosa del Instituto
Real de Tecnología de Estocolmo,
Suecia.

Los principios fundamentales de la metalurgia ferrosa son interesantes sólo si se les puede aplicar y utilizar en forma eficiente en las operaciones industriales. El desarrollo y funcionamiento de los métodos metalúrgicos debe basarse en hechos y leyes científicos formulados claramente. Si no se siguen estos dos principios, la investigación y el conocimiento científicos se aislarán de la industria y la metalurgia se convertirá en arte y no en una ciencia técnica aplicada.

¿Se está desarrollando nuestra industria metalúrgica ferrosa —y ahora estoy pensando en la cadena de tratamientos que va desde el mineral hasta el acero solidificado en el lingote— de acuerdo con las líneas que acabo de mencionar? No, creo que todos debemos reconocer que los métodos que empleamos hoy son el resultado de una evolución tecnológica que se ha basado principalmente en la invención y el sentido común. Además, aparte de la actividad industrial, la ciencia metalúrgica ha estado produciendo datos, teorías y conclusiones que los ingenieros han aprovechado con muy poca frecuencia en la práctica.

Todo el que enseñe metalurgia y realice investigaciones en metalurgia debiera aspirar a presentar sus conocimientos y experiencias de tal modo que la industria los comprenda y

los utilice. El objeto de esta conferencia es presentar ciertos principios metalúrgicos fundamentales más bien sencillos, y analizar en qué forma se les aplica o se les podría aplicar en la práctica.

Los conocimientos fundamentales (teóricos) pertinentes para nuestra industria de la transformación son:

- la termodinámica
- la cinética
- el análisis del proceso.

En una forma o en otra los tres tienen importancia para los dos casos que interesan en la industria, esto es, el costo y la calidad.

La termodinámica.

La metalurgia ferrosa se realiza en gran medida en sistemas de óxidos, y por tanto muchas de nuestras reacciones dependen del equilibrio, y de la cinética de los óxidos. Muchos de los datos termodinámicos de estos compuestos se pueden demostrar con el diagrama de oxígeno potencial.

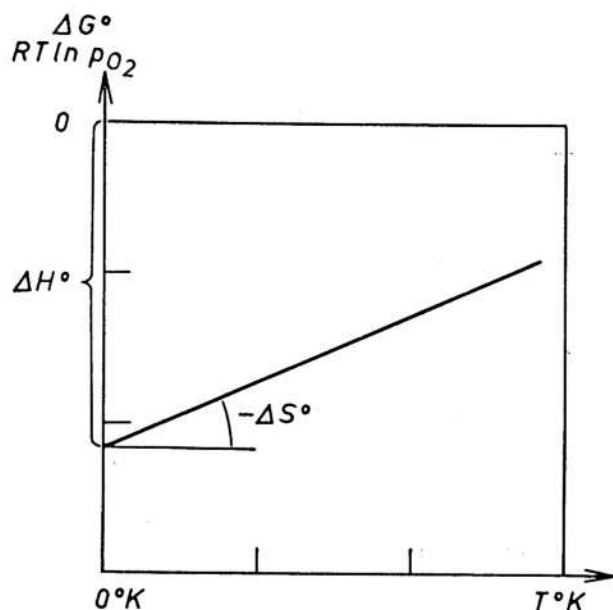


Figura 1
Curva de equilibrio del oxígeno en el diagrama ΔG° .

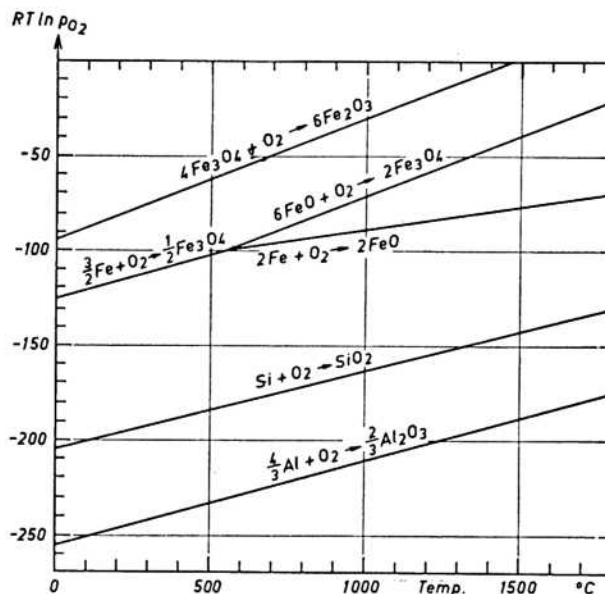


Figura 2
Equilibrio de algunos óxidos comunes.

La relación que decide si una reacción del tipo:



va a ocurrir en una u otra dirección es

$$\Delta G^0 = \Delta H^0 - T \Delta S^0 \quad (2)$$

en que ΔG^0 , ΔH^0 y ΔS^0 indican que los elementos que entran en reacción y los productos de ésta se encuentran en estado normal, por ejemplo, como elementos puros.

La ecuación (2) es evidentemente de la forma

$$\Delta G^0 = s + bT \quad (3)$$

y esto queda demostrado en la figura 1, que muestra la forma en que se puede describir la estabilidad de un óxido a diversas temperaturas. ΔG^0 tiene un valor negativo menor a temperaturas más elevadas y por tanto allí el óxido es menos estable. La pendiente de la línea de equilibrio es $-\Delta S^0$. Como se puede ver en la figura 2, las líneas que describen las condiciones de equilibrio tienen casi la misma pendiente. Esto ocurre porque en la reacción (1) un mol de oxígeno siempre desaparece en el sistema.

En la oxidación del carbono y el monóxido de carbono (figura 3) según las reacciones:



la cantidad de gas que está presente en el sistema es constante (4), disminuye (5) y aumenta (6). El monóxido de carbono (6) es más estable a temperaturas más elevadas, al contrario de lo que ocurre con todos los óxidos metálicos comunes. Este hecho constituye la base de la acción del carbono como agente reductor de la mayoría de los óxidos metálicos a temperaturas elevadas.

Además:

$$\Delta G^0 = -RT \ln K = -RT \ln \frac{a^{\text{MeO}}}{a^{\text{Me}} \cdot P_{\text{O}_2}} = RT \ln \frac{1}{P_{\text{O}_2}} - RT \ln P_{\text{O}_2} \quad (7)$$

El cambio de energía libre —el potencial de oxígeno— es, por tanto, función de la temperatura y de la presión parcial del oxígeno.

Lo anterior es válido cuando los elementos se encuentran en sus estados normales (elementos puros), pero en la fa-

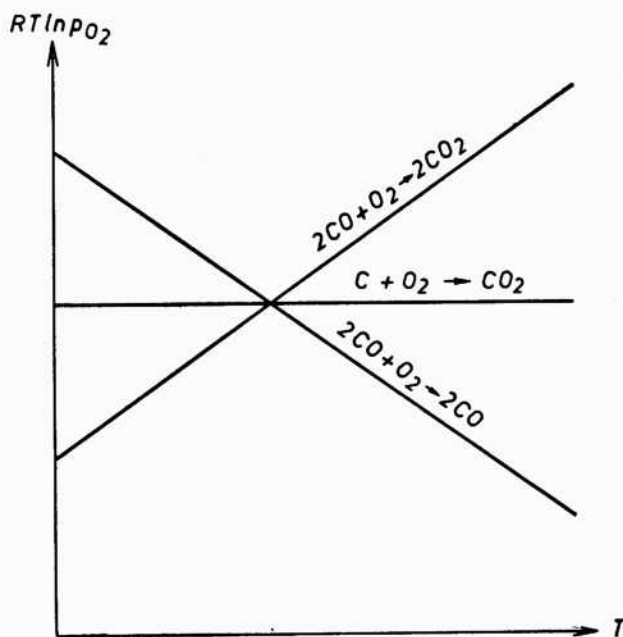


Figura 3

Equilibrio en la formación de CO y CO₂.

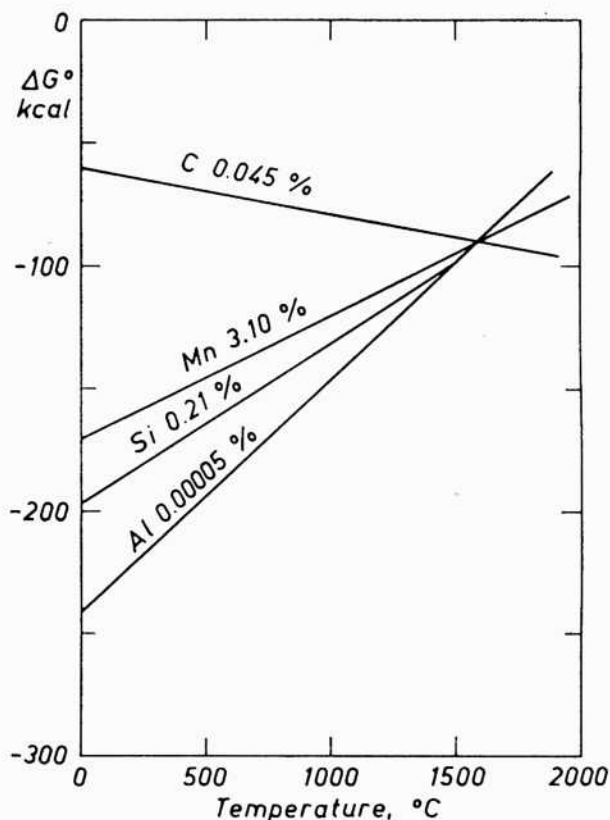


Figura 4

Potencial fijo de oxígeno y equilibrio para diferentes valores de actividad.

bricación de hierro y de acero tenemos que ver con elementos diluidos en hierro y en concentraciones más bien bajas.

Según la ecuación:

$$RT \ln P_{\text{O}_2} = \Delta G^0 + RT \ln \frac{a^{\text{óxido}}}{a^{\text{metal}}} \quad (8)$$

las líneas de equilibrio de la figura 2 se desplazarán

- en sentido contrario al de los punteros del reloj en torno a un punto fijo en $K = 0$ cuando $a^{\text{metal}} < 1$
- en el sentido de los punteros del reloj cuando $a^{\text{óxido}} < 1$

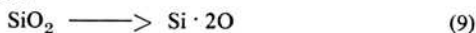
En un sistema en que fijamos el potencial de oxígeno en un determinado punto, como en la figura 4, todos los equilibrios de los distintos metales y sus óxidos tenderán a satisfacer este potencial de oxígeno cambiando las actividades de los óxidos y metales de tal modo que la nueva línea de equilibrio pase a través del potencial de oxígeno presente en el sistema. Las reacciones para las cuales las líneas de los equilibrios de ΔG^0 pasan encima del punto fijo sólo pueden llegar a este punto reduciendo la actividad de los óxidos; las reacciones cuyas líneas de ΔG^0 quedan bajo el punto cambiarán para calzar con el punto fijo reduciendo la actividad del metal.

Veamos ahora algunos ejemplos ilustrativos de estos hechos básicos del diagrama del potencial de oxígeno.

Es cosa sabida que dentro del alto horno el fósforo queda completamente reducido y pasa al arrabio. Ello se explica fácilmente con el diagrama de potencial de oxígeno. En la figura 5 se ven los equilibrios de fósforo para los elementos puros y también para las condiciones del alto horno, donde la actividad del fósforo dentro del arrabio es

de alrededor de 0,02 — 0,001, pero la actividad del óxido de fósforo de la escoria es bajísima. El resultado de lo anterior es la condición de equilibrio que se ve en la figura 5 (línea cortada). Sin embargo, el potencial de oxígeno (B 1) contenido en el sistema es muy bajo y lo determina la presencia de un exceso de carbono y un valor PCO de alrededor de 1. El punto B1 es inferior a la línea de óxido de hierro y a la de fósforo, por lo tanto el fósforo será reducido más o menos completamente. La única forma de evitar la reducción de la mayor parte del fósforo es emplear en el proceso un potencial de oxígeno situado entre las dos líneas de equilibrio de que se trata. Esto ocurre en los procedimientos de reducción por fusión en que el fósforo casi no entra en la fase de hierro. Este potencial de oxígeno corresponderá a 3 — 5% Fe en la escoria, comparado con 0,5% Fe en la escoria del alto horno.

En el tratamiento al vacío del acero fundido, el carbono actuará como agente de desoxidación relativamente potente, debido a la disminución de PCO. En el diagrama la línea $C \longrightarrow CO$ se desplaza en el sentido de los punteros hacia menores potenciales de oxígeno cuando decrece PCO. En esta forma el potencial de oxígeno puede bajar a un nivel inferior a aquél en que el SiO_2 del revestimiento de la cuchara resulta estable. El resultado de esto es una "fuga de oxígeno" desde el revestimiento hacia el acero debido a la reacción:



Pero se puede obtener el mismo bajo potencial de oxígeno mediante la desoxidación con aluminio. Cabe observar que en este caso también el oxígeno pasará al baño de acero desde el revestimiento. Esto no siempre se comprende, pero la reacción es presumiblemente una de las razones que determina el nivel relativamente alto de oxígeno, de 20 — 25 ppm O, que se obtiene en el acero aún con una cuidadosa desoxidación con aluminio. En los sistemas DH y RH de desgasificación al vacío es verdad que el potencial de oxígeno disminuye mucho en el recipiente al vacío, pero el metal desoxidado vuelve a una cuchara donde existen peligrosas posibilidades de absorción de oxígeno desprendido por un revestimiento refractario inestable y una escoria relativamente rica en óxidos de hierro, como también por efecto de cierto contacto con el aire.

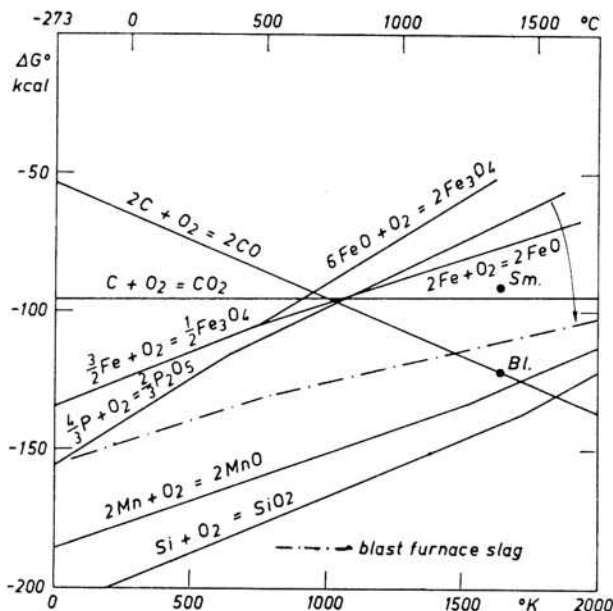


Figura 5
Equilibrio en la reducción del fósforo.

El siguiente es un ejemplo interesante de la importancia que tiene la actividad del óxido. En el procedimiento ESR ("Electro-slag refining", afino eléctrico con escoria) el aluminio pasa en cierta medida dentro del hierro durante el breve período de fusión. Esto se realiza por efecto del silicio, aún en concentraciones tan bajas como 0,3%. Normalmente, el Si es un desoxidante mucho menos fuerte que el Al, y la reacción normal se desplazaría a la derecha:

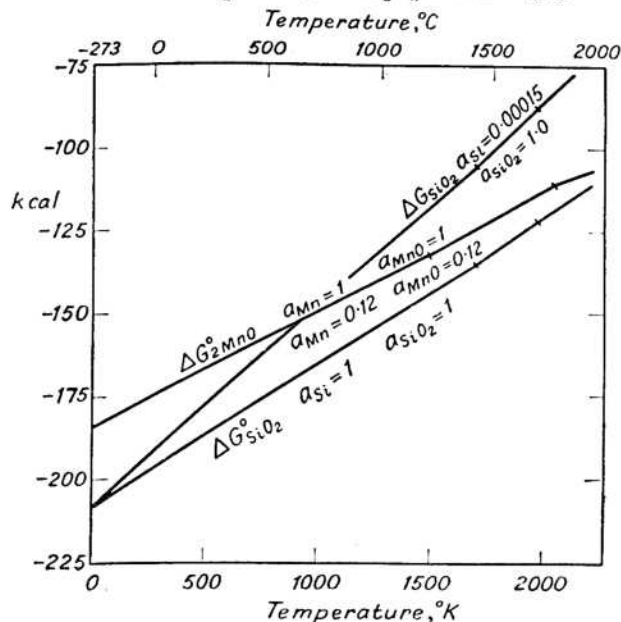
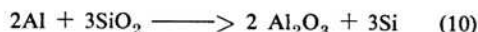


Figura 6
Temperature °C = Temperatura °C; Temperature °K = Temperatura °K.

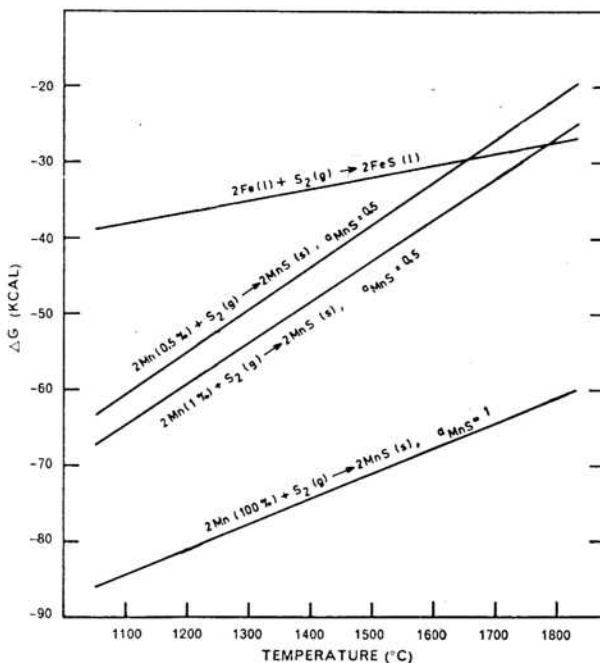


Figura 7
Condiciones para la formación de FeS y MnS. Temperature (°C) = Temperatura (°C).

Pero en este caso la concentración de SiO_2 dentro de la escoria es casi cero, puesto que la escoria se compone de CaF_2 , CaO y Al_2O_3 en una proporción de 70/15/15. El resultado de esto es que la reacción (10) se realiza hacia la izquierda (en el diagrama de oxígeno la línea Si-SiO_2 quedará debajo de la línea $2\text{Al-Al}_2\text{O}_3$).

En la figura 2 la línea de formación del MnO se encuentra a buena distancia por encima de la línea de formación de SiO_2 . Por tanto se podría esperar que en todos los casos el SiO_2 sería más estable que el MnO . De ser así, sería posible fabricar acero de alto manganeso en un horno de revestimiento ácido. Pero en las condiciones del afino de acero distamos mucho de contar con los componentes en su estado normal. La actividad del silicio es muy baja en este acero, debido en parte a un bajo contenido de silicio y en parte a un bajo coeficiente de actividad del silicio en el arrabio. Como la actividad de la sílice contenida en el revestimiento es 1, ello origina una fuerte desviación de la línea del silicio hacia arriba, como se señala en la figura 6. La línea de Mn-MnO no se desplaza, debido a dos efectos contrarios: la reducción de ^aMn a 0,12 y ^aMnO también a 0,12. A la temperatura necesaria para el afino el SiO_2 contenido en el revestimiento es mucho menos estable que el MnO , y el revestimiento, por tanto, queda seriamente erosionado. Es preciso emplear un revestimiento básico.

Un ejemplo muy similar, aunque referido a los sulfuros, es la formación de FeS en presencia de niveles relativamente bajos de manganeso, durante el enfriamiento del acero. Las condiciones se indican en la figura 7. La actividad de manganeso es bastante inferior a la unidad, y por ello la línea real de equilibrio se encuentra situada donde se indica. Cuando el enfriamiento es rápido las condiciones prevalecientes a 1600°C , donde el FeS es el sulfuro estable, pueden subsistir en el acero sólido. Ello resulta peligroso, porque el FeS tiene propiedades físicas indeseables. Sin embargo, recalentándolo y manteniéndolo a una temperatura más baja, digamos de 1300°C , en que el MnS es el sulfuro estable, el FeS puede transformarse en MnS por reacción con el manganeso presente.

En los casos que hemos estudiado hemos examinado las condiciones presentes a intervalos más o menos breves durante el proceso. Empleemos ahora el diagrama de potencial de oxígeno para reflexionar acerca del transcurso de un proceso completo, desde el mineral al acero, o determinada parte del proceso de aceración.

En la parte izquierda de la figura 8 se muestran de manera muy sencilla, las condiciones que existen a lo largo de toda la serie de procesos, desde el mineral al acero desoxidado. En A el mineral, Fe_2O_3 , se encuentra en equilibrio con una elevada presión de oxígeno. B señala el nivel del potencial de oxígeno en la parte inferior del alto horno, en que el hierro se encuentra en contacto con un exceso de coque. Aquí el potencial de oxígeno es extremadamente bajo (el contenido de oxígeno en el hierro es demasiado bajo para medirlo); C representa el término del afino en que el nivel de oxígeno debe ser más bien elevado con el fin de oxidar el carbono y otros elementos. Finalmente, el afino termina con un período de desoxidación donde se elimina el exceso de oxígeno introducido entre B y C.

La línea vertical ABCD es unidimensional y no describe muy bien las condiciones, ya que no se toma en cuenta la temperatura. Como

$$\Delta G^\circ = RT \ln P_{\text{O}_2}$$

el potencial de oxígeno es claramente función de la temperatura. Si la línea que se encuentra en la parte izquierda de la figura 8 se traslada a un trazado bidimensional, obtendremos la línea $A A_1 A_2 A_3 B B_1 B_2 C D$. A_1 , A_2 y A_3 representan el paso sucesivo de los equilibrios para la formación de Fe_2O_3 , Fe_3O_4 y FeO . B se encuentra sobre la línea de formación de CO en condiciones normales a 1450°C . B_1 representa el punto de partida del afino en LD, por ejemplo, a 1250°C . En B_2 nos encontramos cerca del término del afino con 0,5% C. La composición final con

0,05% C se alcanza en el punto C, a 1625°C . Finalmente se desoxida el baño, en este caso con 0,5% Si, y la temperatura baja a 1580°C (punto D).

La línea $A A_1 A_2 A_3 B$ de la figura 8 representa el cambio en la composición de la carga dentro del alto horno. La línea cortada indica el cambio en el potencial de oxígeno de la fase gaseosa desde la tobera al nivel del gas de tragante. El aire entra a 900°C y quema el carbono en las toberas, primero para formar CO_2 y finalmente CO , y durante la combustión se calienta a más de 2000°C . En la cuba la composición del gas la determina el equilibrio de $\text{C} \longrightarrow \text{CO}$, a temperaturas más elevadas, y el $\text{Fe} - \text{FeO}$, a temperaturas más bajas. El gas sale del horno con la relación de CO/CO_2 que se obtuvo en aquel nivel de temperatura en que fue posible realizar la reacción.

La línea de operación, de A a D, se encuentra en la figura 8, dibujada en el diagrama de ΔG° con líneas que corresponden a los distintos elementos cuando su actividad es = a 1. Lo anterior resulta razonablemente correcto en el caso de los óxidos de hierro y el $\text{C} \longrightarrow \text{CO}$ dentro del alto horno. Pero en aceración debemos desplazar las líneas, tomando en cuenta las actividades existentes. Se puede ver, por ejemplo, que el punto D, que debiera estar en equilibrio en un acero con 0,5% Si se encuentra lejos de la línea de $\text{Si} \longrightarrow \text{SiO}_2$.

Coloquemos, entonces, la "línea de operación" dentro de un diagrama en que se muestren las líneas correspondientes a diversas actividades del Si, Mn, Al y C (figura 9). La figura 9 es una ampliación de la figura 8. Aquí podemos

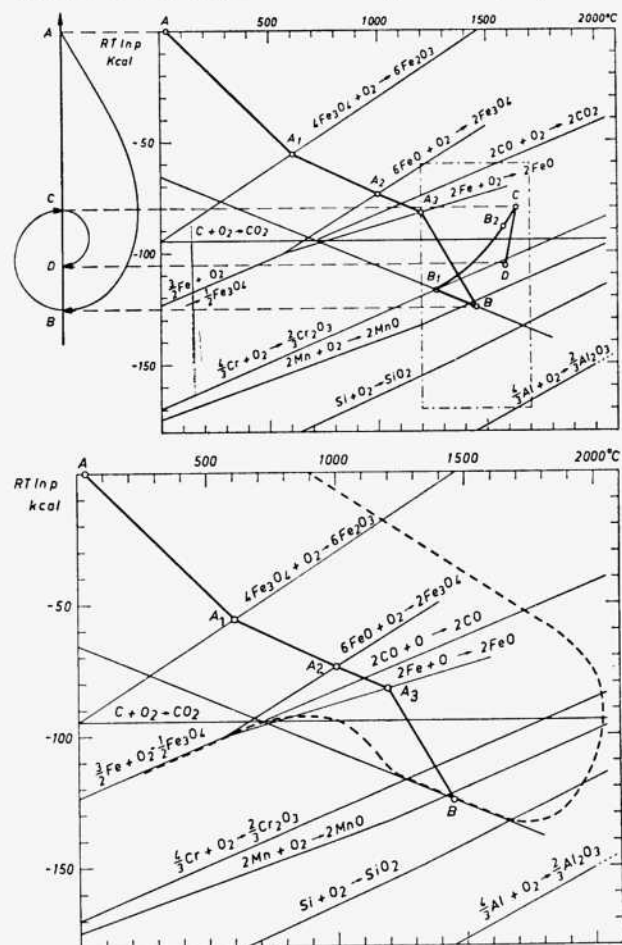


Figura 8

Variación del potencial de oxígeno al producir arrabio y en acería.

ver la posición exacta de equilibrio con 0.5% Si, por ejemplo, que ahora pasa por D. Debe señalarse el importantísimo cambio en la posición de la línea de $C \rightleftharpoons CO$, debido a los cambios del contenido de carbono y de las presiones parciales de CO .

La extraña forma de operación que se ilustra en la figura 8 cuando se produce acero con mineral, no es, naturalmente, la única posible. Como se dijo cuando nos referimos a la figura 5, debiera ser concebible evitar el punto B a un nivel tan bajo de potencial de oxígeno. El efecto que producen las condiciones reductoras demasiado fuertes dentro del alto horno es que una cantidad de elementos indeseables se reducen y quedan incluidos en el arrabio. El efecto principal debiera ser producir arrabio y no producir Si, P, Mn, Ti, V, etc. Sin embargo, es probable que la fabricación de hierro y la de acero se mantendrán separadas, ya que en esta forma es mucho más fácil regular los procesos y dirigirlos en el sentido que se desea.

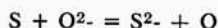
La curva $B_1 B_2 C$ de la figura 9 se calculó como si el equilibrio hubiera sido alcanzado durante la aceración. Es mucho más probable que el camino se parezca a la línea cortada, donde el potencial de oxígeno del sistema se encuentra por encima del correspondiente al equilibrio con los elementos en el baño.

Un ejemplo ilustrativo de la forma en que el conocimiento del diagrama de potencial de oxígeno puede servir para establecer nuevos sistemas de tratamiento lo constituyen los equilibrios del cromo y el carbono en la producción del acero inoxidable. El problema que surge en este proceso es la forma de oxidar el carbono en presencia del cromo. Si tuviéramos que trabajar con baños saturados, la figura 10 nos indica que a todas las temperaturas superiores a alrededor de $1300^\circ C$ se puede oxidar el carbono mejor que el cromo (el CO es más estable que el Cr_2O_3). Pero el punto de cruce de las dos líneas se encuentra en realidad a temperaturas mucho más elevadas, alrededor de $1900^\circ C$, figura 11. La línea de cromo, es cierto, se ha desplazado algo hacia arriba ($\Delta Cr = 0,18$), pero la línea de equilibrio del carbono se encuentra casi horizontal, por los contenidos muy bajos de carbono, inferiores a 0,05% C. En condiciones corrientes, por tanto, es preciso llegar a temperaturas muy altas si se ha de obtener un bajo contenido de carbono.

Si vemos el hecho de que el vacío disminuye PCO y así desplaza la línea $C \rightleftharpoons CO$ hacia abajo, debiera ser posible evitar las temperaturas demasiado elevadas y la sobreoxidación del cromo, si se realiza la última parte de la colada a presión reducida. En esta forma se puede encontrar un punto de cruce a temperatura mucho más baja, donde las condiciones de trabajo son más fáciles.

Este razonamiento es precisamente el que se sigue en la nueva técnica de producción de acero inoxidable que se aplica en Witten, en Alemania, y también en siderúrgicas de los Estados Unidos, donde el proceso comienza con un arrabio con cromo, el que llega a tener un contenido razonablemente bajo de carbono de alrededor de 0,2% C, dentro de un convertidor LD, con lo que se reduce al mínimo el riesgo de la oxidación del cromo. El afino termina en una cuchara al vacío, donde el carbono se lleva a niveles bajísimos, alrededor de 0,02%, y con cierta adición de mineral de cromo que se reduce y pasa al acero.

Es un hecho conocido que la desulfuración del hierro y el acero se encuentra fuertemente influenciada por un bajo contenido de oxígeno en el baño.



También tiene importancia producir una elevada concentración de iones de O^{2-} en la escoria, empleando una escoria altamente básica. Se puede elevar la actividad del azufre mediante la presencia de carbono, silicio y fósforo. La conclusión lógica debiera ser la de no realizar la desulfuración durante el afino, al menos mientras duren las condiciones oxidantes. El alto horno tampoco es ideal para la desulfuración, ya que la escoria es sólo moderadamente bá-

sica, y el contacto entre metal y escoria es más bien débil. La mejor forma de desulfurar debiera ser emplear un sistema en que haya una mezcla íntima de la escoria fuertemente básica (fundida o sólida) con el hierro rico en carbono.

Si es cierto lo anterior, es probable que el costo de la desulfuración hasta obtener un bajo contenido de azufre sea menor empleando este tipo de procedimiento. La figura 12 señala que esto es así. El costo de la desulfuración en el alto horno aumenta constantemente cuanto menor es el contenido de azufre que se desea. Con el horno Siemens-Martin y el LD se obtiene un cierto grado de desulfuración sin costo, debido a la presencia de escoria. Con estos sistemas el costo de la desulfuración a niveles de azufre extremadamente bajos resulta imposible, porque el volumen de

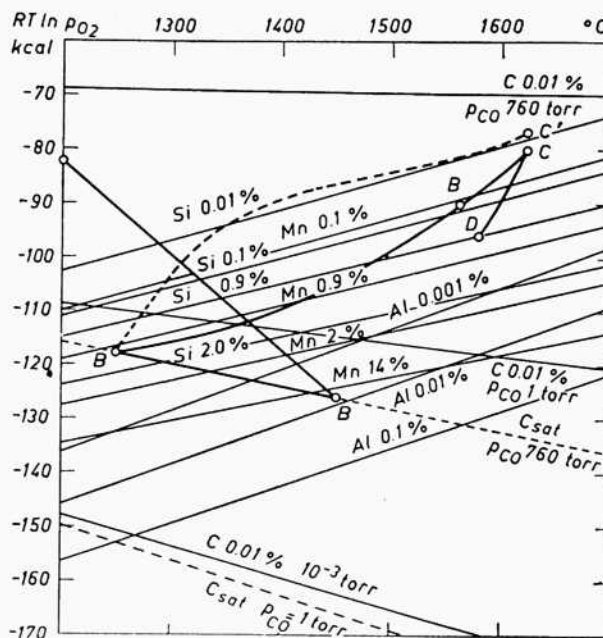


Figura 9

Potenciales de oxígeno en acería correspondientes a valores efectivos de las actividades.

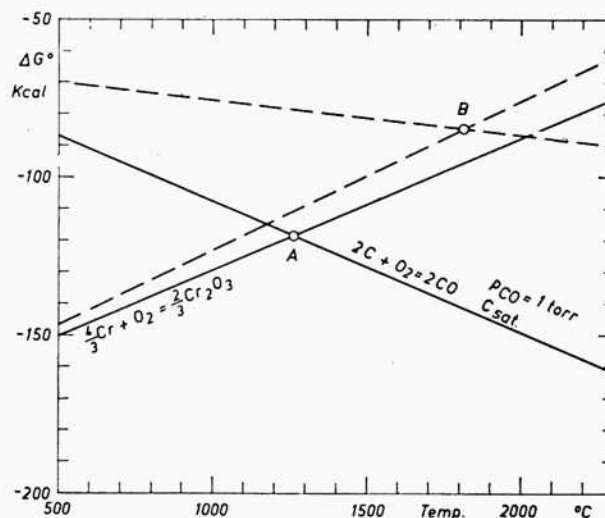


Figura 10

Equilibrios del carbono y del cromo.

escoria tiene que ser demasiado grande. Sin embargo, la desulfuración en un recipiente fuera del alto horno, resulta casi constante con diferentes contenidos de azufre, y es indudablemente el método más barato cuando se trata de obtener niveles particularmente bajos de contenido de azufre.

Los ejemplos citados, y especialmente los que se refieren a la desoxidación, desulfuración, reducción en el alto horno y producción de acero inoxidable, tuvieron por objeto señalar la cantidad de informaciones valiosas que se pueden obtener de los datos y razonamientos puramente termodinámicos, y que se pueden aplicar directamente a la operación. Los datos termodinámicos nos indican el punto de equilibrio de una reacción, pero no nos dicen nada acerca de la velocidad de la reacción.

Es cierto que casi todas las reacciones metalúrgicas se realizan a una velocidad sumamente alta, imposible de medir. A las temperaturas elevadas en que se realizan los procesos metalúrgicos ferrosos son los fenómenos de transporte material los que determinan la velocidad.

La cinética.

En una colada el transporte se puede realizar por difusión y por convección. La difusión se origina por una diferencia de concentración entre el punto de la reacción y la masa de la colada. La fuerza impulsora de la convección puede ser natural y surgir de las diferencias de calor y distribución de masa, o bien forzada, mediante agitación electromagnética, mecánica o de un gas.

La reacción puede ocurrir en las interfaces dentro de la colada, en el límite entre escoria y metal, o en la superficie de gas y metal o de gas y escoria. En todos los casos el fundente F de la especie se puede describir mediante la ecuación:

$$F = \frac{dn}{dt} = A \cdot \alpha \cdot (C_b - C_e) \quad (12)$$

en que: n = el número de moles transportados

A = la superficie

α = un coeficiente de transferencia de masa

C_b = concentración del componente en la masa de la colada

C_e = concentración del componente en el lugar de la reacción, suponiendo que se ha alcanzado el equilibrio debido a la elevada velocidad de la reacción química propiamente tal.

Existen dificultades para decidir el valor de la superficie A en la cual se realiza la reacción. La curva de concentración está relativamente bien definida, pero la suposición correcta debe basarse en un conocimiento detallado de las condiciones que rigen en la interfaz de reacción. Si se ha de llegar a tener información cuantitativa acerca del mecanismo de transporte, es importante sobre todo que se obtenga una valoración exacta del coeficiente de transferencia de masa α . El caso más sencillo se presenta cuando la colada se mantiene en concentración uniforme mediante agitación por convección, salvo una delgada capa superficial de espesor g.

$$\text{Luego } \alpha = \frac{D}{S} \quad (13)$$

El coeficiente de difusión D es una constante material que depende de la temperatura y S es función del coeficiente de difusión, y el grado de agitación por convección tal que S es mayor con valores más altos de D, y menor cuanto más elevada es la velocidad de flujo de la corriente de convección por la superficie límite.

Otras consideraciones indican que la idea de una capa límite estática está equivocada. Se supone, al contrario, que la turbulencia se extiende a la superficie donde los elementos superficiales se renuevan constantemente mediante bolsas de fluidos que surgen en el sitio de la reacción. Aparece

un factor de renovación superficial, S función del movimiento turbulento reemplaza a S en la teoría de la capa límite.

En la ecuación (según Dankwert)

$$\alpha = (DS)^{1/2} \quad (14)$$

S es parte de la velocidad de renovación de la superficie de reacción por acción de nuevas capas que vienen de la masa.

Si se supone que existe una capa superficial que se desplaza paralelamente a la superficie de reacción, como en la figura 13, y no existe una gradiente de velocidad perpendicular a la superficie, el líquido se desplaza de la superficie en el centro de la colada. Aparece pues un elemento en el centro; descarga su contenido por difusión a medida que fluye a la superficie y luego se mezcla con la masa. El "tiempo de permanencia" es el tiempo que tarda el elemento en fluir desde el centro al límite exterior. Macklin da la ecuación:

$$\alpha = 2 \left(\frac{2DV}{r} \right)^{1/2} \quad (15)$$

en que V es la velocidad de la capa superficial y r el radio del crisol.

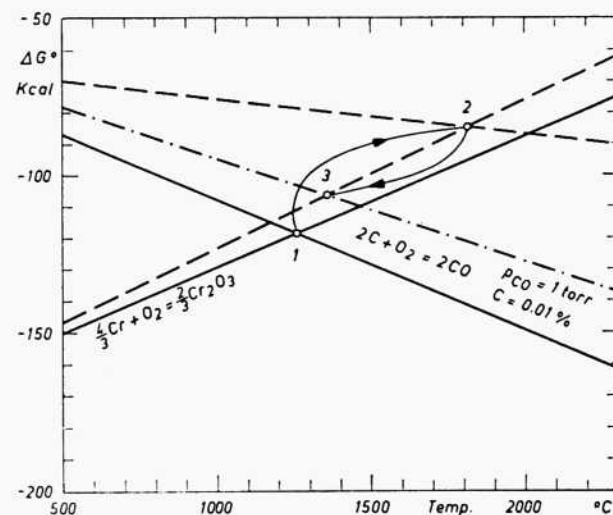


Figura 11

Potencial de oxígeno en la producción de acero inoxidable empleando vacío.

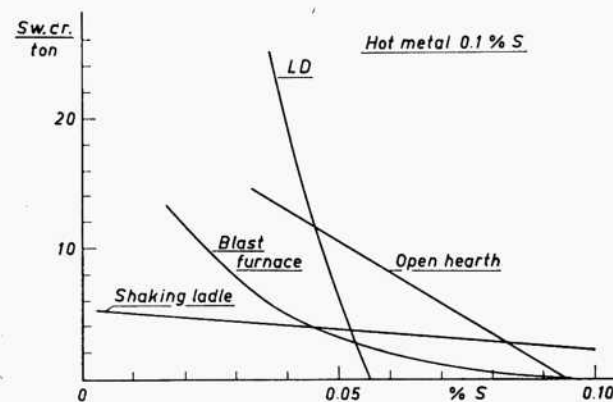


Figura 12

Costos de desulfuración por diferentes procesos. Sw.cr/ton. = Coronas suecas/tons; Hot metal 0,1% S = arrabio líquido 0,1% S; Shaking ladle = cuchara vibratoria; Blast furnace = alto horno; Open hearth = horno de solera abierta.

Existen todavía otros modelos. Todos ellos tienen en común que tratan de formular una expresión de α . En las ecuaciones (13) (14) (15) α es función de la agitación por convección, sea laminar o turbulenta. Es útil, desde luego, que α se pueda relacionar con un parámetro que se pueda medir. No es el caso de las relaciones (13) y (14), pero en (15) podría medirse la velocidad.

En la ecuación (12) se ve claramente que el flujo de la masa, hacia la superficie de reacción y desde ella, depende de:

- la superficie lo más grande posible
- un alto valor de α
- una gran diferencia de concentración

Que la diferencia de concentración tiene importancia para la velocidad de reacción es cosa sabida. La desulfuración, por ejemplo, es mucho más rápida con contenidos de azufre más elevados. Normalmente, esta reacción sigue una curva logarítmica, es decir, se obtiene un factor de tiempo, o "promedio".

Pero la velocidad de transferencia de masa está influenciada principalmente por una gran superficie A y un elevado valor de α . Este último aumenta considerablemente con el movimiento turbulento de la colada (o de la escoria), y así la teoría indica que las condiciones cinéticas más favorables se alcanzan cuando la colada está en agitación. Esta agitación a veces aumenta también la superficie, especialmente cuando se realiza con gas.

Casi todos están de acuerdo en que la agitación se necesita con el fin de acelerar las reacciones, pero disponemos de muy poca información exacta acerca de cómo debe ejecutarse la agitación.

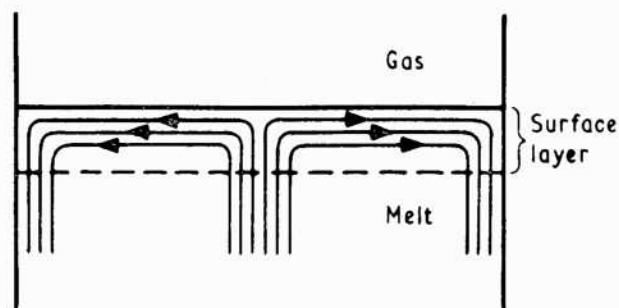
Primero es preciso investigar el propósito de la agitación. Podría haber casos distintos si la agitación se necesita para igualar el baño de acero, o para mezclar íntimamente la escoria y el acero, como, por ejemplo, en la desulfuración. La gran superficie que resulta de una agitación intensiva tiene importancia para la transferencia de calor, especialmente si es necesario confiar en la radiación. También se ha visto que la agitación es el factor más importante para la aglomeración de las inclusiones de escoria con partículas o agregados mayores, los que saldrán flotando del metal con mayor facilidad debido a su tamaño.

El mecanismo de la agitación y sus consecuencias para los procesos metalúrgicos constituirá probablemente uno de los estudios más importantes por realizar en el futuro próximo. Hay que encontrar datos cuantitativos acerca de los coeficientes de transferencia de masa y calor. En muchos casos será difícil medir las variables que determinen los valores de A y de α . Tiene igual importancia, sin embargo, la medición de la velocidad de reacción y de la cual puede deducirse una expresión general para los valores de α en función de diferentes parámetros. Por ejemplo, el número de colisiones entre las partículas de escoria incluidas en el baño se puede relacionar con la energía aplicada a la agitación. El número de colisiones se relaciona, a su vez, con la velocidad de eliminación de las inclusiones y esto se puede estudiar cuantitativamente mediante muestras tomadas a distintos intervalos.

El efecto positivo ejercido sobre la transferencia de masa y calor que emana de la ebullición del carbono en el horno Siemens-Martin es bien conocido. Hoy en día, sin embargo, es preciso emplear una agitación más vigorosa con el fin de obtener velocidades óptimas de reacción. Se ha visto que aún en la aceración LD, donde el baño de metal y escoria se encuentra sometido a un movimiento intenso, existen curvas de concentración definidas cuyo centro es la zona de ataque del oxígeno. Los ensayos realizados con la agitación por gas desde el fondo, o con el empleo de la cuchara vibratoria han mejorado la velocidad y han cambiado las reacciones metalúrgicas. En el sistema Bessemer se prueba que la agitación reduce el tiempo de reac-

ción. La presencia de un baño tranquilo en el horno Siemens-Martin, o en el horno eléctrico de arco con escoria reductora, origina períodos extremadamente "muertos" en que se produce escasa reacción.

La agitación efectiva produce un baño de acero uniforme. Esto tiene la gran ventaja de que una muestra del baño representa realmente la composición global exacta, lo que a su vez permite controlar la operación. Si el baño es homogéneo debiera obtenerse el mismo resultado tanto en escala de laboratorio como en la operación industrial. Se ha probado la exactitud de lo dicho en el caso de la desoxidación por precipitación, con los ensayos hechos en Suecia con coladas de 1 kg. realizadas en el laboratorio y también en operación en gran escala con una cuchara ASEA-SKF de 45 toneladas (sin vacío). La figura 14 muestra que el tiempo consumido en eliminar los productos de la desoxidación fue muy parecido en ambos casos. Cabe destacar nuevamente que la agitación intensa es un requisito indispensable para llegar a tal resultado.



THE RIGID FLOW MODEL OF THE CONVECTIVE FLOW PATTERN AT THE SURFACE OF AN INDUCTIVELY STIRRED MELT

Figura 13

Renovación de la capa superficial. Surface layer = capa superficial.

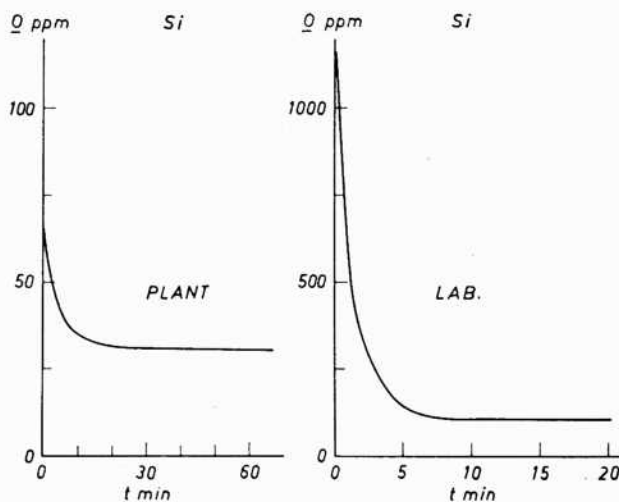


Figura 14

Desoxidación con Si en hornadas de 1 Kg y de 45 tons. Plant = Factoria; LAB = laboratorio.

La necesidad de tener grandes superficies expuestas con el fin de aumentar la velocidad del proceso tendrá como consecuencia un aumento en el uso de productos pulverizados. Sería ideal que todas las adiciones que se han de hacer al baño de acero (concentrado), cal, aleaciones y elementos desoxidantes) se agregaran en forma de polvo. La superficie del baño se puede aumentar con cualquier mecanismo de agitación, pero el mayor aumento de superficie se obtiene probablemente al exponer las gotitas de metal en la fase de escoria o de gas. Esto ocurre en distintos grados en todos los sistemas de aceración.

La aceración del futuro no funcionará, probablemente, con capas definidas de escoria y metal. Es más probable que la escoria se mezcle en el baño en estado de emulsión, con lo que se asegura tanto una alta velocidad como condiciones estables próximas al equilibrio.

Las herramientas de operación.

Luego de analizar algunos de nuestros problemas metalúrgicos a la luz de ciertos conocimientos termodinámicos y cinéticos, investigaremos las herramientas metalúrgicas que se pueden o deben usar.

La forma y dimensiones del recipiente de reacción mismo tienen gran importancia. Es peligroso mostrarse demasiado conservadores y olvidar cargar el recipiente con los métodos metalúrgicos cambiados. Ejemplo típico es tal vez el horno eléctrico de arco que anteriormente tenía un baño poco profundo y un volumen libre relativamente pequeño encima del baño. En los hornos modernos de alta potencia, provistos de agitación electro-magnética, el baño puede ser más profundo y el volumen superior debe ser grande con el fin de contener la voluminosa carga de chatarra y evitar el sobrecalentamiento del revestimiento.

Las distintas formas de suministrar calor quedan bien demostradas por las distintas fuentes de energía que se emplean en la fusión de la chatarra.

- oxidación de los elementos (Si, P, S, Fe) dentro del baño, directamente. Se evita el sobrecalentamiento adicionando chatarra;
- calentamiento por arco eléctrico o plasma;
- calentamiento por inducción;
- calentamiento por llama de petróleo y aire caliente en el horno Siemens-Martin, o por llama de petróleo y oxígeno en el método FOS (fuel-oxygen-scrap).

La aceración consiste esencialmente en la exposición al oxígeno del baño con alto contenido de carbono. Esto se

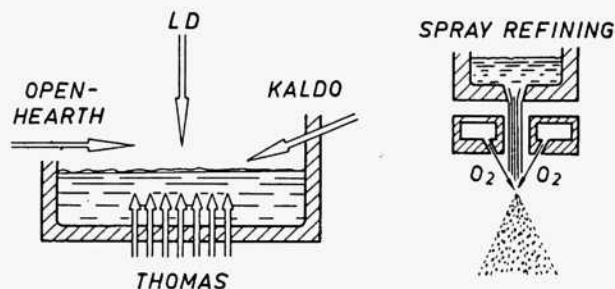


Figura 15

Distintas formas de introducir oxígeno. Open hearth = horno de solera; Spray refining = Afino en chorro.

ve en la figura 15. En principio, muy poco ha cambiado desde los tiempos de Bessemer. Aun cuando en todos los sistemas, aparte del Bessemer, la escoria actúa más o menos como portador de oxígeno, la fuente inicial de oxígeno viene de la fase gaseosa. Desde este punto de vista, no tiene importancia que el oxígeno entre por el fondo con petróleo, por la superficie con gas de desecho, o dirigido hacia la superficie en forma de oxígeno puro. La aceración en chorro presenta en realidad una nueva idea.

Otro ejemplo en que el ingeniero metalúrgico debe preguntarse qué herramientas debe usar es el tratamiento del acero en la cuchara luego de la aceración.

Supongamos que se necesitan una o más condiciones, como sigue (ver cuadro I).

- distribución uniforme de la temperatura;
- distribución uniforme de la composición química;
- bajo valor de O;
- baja cantidad de inclusiones de escoria;
- bajo valor de H;
- bajo valor de S.

La temperatura y la composición uniforme (1 y 2) son relativamente fáciles de obtener. Para ello no hace falta un calentamiento adicional y la cantidad de agitación necesaria es muy pequeña. La forma más fácil de realizarla es con gas a través de un tapón poroso situado en el fondo de la cuchara, con una cantidad de gas de 25-50 l/t.

Tampoco es difícil obtener un bajo nivel de O (3), esto es, oxígeno disuelto en la colada. Si se emplea la desoxidación por precipitación con Al, Si u otros desoxidantes, la operación es rápida. Si se desoxida la colada con carbono al vacío, el proceso resulta mucho más lento y hace falta un considerable sobrecalentamiento o un calentamiento en el curso del tratamiento. En la desoxidación por precipitación se puede emplear una agitación moderada. Con la desoxidación con carbono al vacío, el CO que se forma actúa en forma efectiva como agitador (0,1% C equivale a alrededor de 2 m³N CO) pero para que toda la colada reaccione se necesita cierto grado de agitación adicional por el fondo.

La obtención de un bajo nivel de oxígeno disuelto, sin embargo, no reviste interés por sí sola, si no se eliminan los productos de la desoxidación (4). Si se emplea la desoxidación por precipitación, hace falta cierto período para eliminar las inclusiones de escoria. Rara vez se emplea sólo carbono como elemento desoxidante, y así se puede decir que siempre se necesita una agitación efectiva durante determinado período. La cantidad de agitación equivale a la acción de 2-4 m³N de gas/t, y se puede realizar ventajosamente por inducción.

Con el fin de alcanzar un bajo contenido de hidrógeno (5) es indispensable realizar una eliminación intensa con gas Ar o CO (este último formado durante el tratamiento al vacío). La mayor superficie expuesta que resulta de las otras formas de agitación no es suficiente para reducir el contenido de hidrógeno.

CUADRO I

Tratamiento en cuchara, del acero.

Efecto buscado	Calentamiento ^x		Agitación Gas	Inducción	Desoxidación	
	Recalentamiento previo	Calentamiento durante la operación			C	Ca, Al, Si, Mn
Temperatura uniforme			25 l/t			
Composición uniforme			25 l/t			
Bajo O a)			25 l/t			+
Bajo O b)	+	+	25 l/t		+	
			+ CO			
Baja cantidad de inclusiones de escoria						
Bajo H	+	+	~ 3m ³ N/t	+	+	
			o CO			
Bajo S		+		+		+

(x) los dos métodos se emplean alternativamente.

Por último la desulfuración (6) como operación final en la cuchara, se realiza con una escoria o por inyección de un desulfurante intenso. Se necesita un período prolongado de agitación y un potencial especialmente bajo de oxígeno.

Para resumir lo que se indica en el cuadro I deseo destacar la importancia de estudiar cuidadosamente la elección del método de operación más adecuado para obtener un resultado determinado.

El análisis del método.

Una vez reunidos los conocimientos básicos y examinados críticamente los métodos, es preciso realizar un análisis detallado de la situación del proceso. Bien puede ser, por ejemplo, que las medidas operacionales que parezcan ideales desde un punto de vista general resulten irrealizables en la forma deseada, porque sus efectos se contraponen. Esto ocurre a veces con la transferencia de masa y calor.

Las transferencias de masa y calor son análogas en muchos aspectos y las condiciones que favorecen a una también favorecen a la otra. Consideremos tres ejemplos de esto.

En la desgasificación en chorro se presenta una superficie de metal muy grande que se expone al vacío a medida que el chorro de metal se disemina en pequeñas gotitas. Esto reviste una gran ventaja para la transferencia de masa y en tal forma es posible eliminar el hidrógeno en el curso de un período de exposición muy breve. Los aspectos negativos de esto son que el enfriamiento por radiación también resulta muy elevado.

Se han hecho muchos intentos de perfeccionar un procedimiento para fundir la chatarra con un quemador de oxígeno y petróleo. Entre tales sistemas el llamado FOS es el que se encuentra más adelantado. Parece que uno de los principales problemas reside en que la chatarra se oxida con la llama que toca su superficie. Una buena transferencia de calor debiera basarse, tal vez, en el uso de un componente grande de convección, pero esto resulta difícil de realizar sin una oxidación excesiva de la chatarra por la llama. Por otra parte, una mayor transferencia de calor por radiación conduce a una operación menos eficiente y quizás a un ataque térmico al revestimiento.

Los sistemas de reducción por fusión que se están ensayando actualmente se basan en la idea de que el CO que se forma en la reducción se quema inmediatamente encima de la carga que es donde se produce la reducción fuertemente endotérmica.

El problema principal reside en cómo quemar el CO con oxígeno de tal manera que ni se oxide el carbono contenido en el baño (calentamiento por convección con el oxígeno dirigido más o menos hacia el baño) ni aparezca el efecto peligroso de la radiación de calor sobre el revestimiento del horno.

Entre los métodos de reducción el alto horno es casi el único que hoy vale la pena considerar. ¿Hasta qué punto el alto horno moderno constituye el sistema ideal, de acuerdo con los principios indicados anteriormente? La figura 16 nos indica que la línea que va desde el horno primitivo de "vasija" de hace más de 1000 años hasta el alto horno moderno no se ha interrumpido. La diferencia es de tamaño y no de principios. La idea fundamental ha sido la misma todo el tiempo; el carbono se quema con aire en el fondo de una cuba y los gases pre-reducen la carga en un movimiento de contra corriente. La reducción final y la fusión se realiza en el fondo. En cierto sentido el primer horno primitivo tuvo más éxito que el moderno: porque debido al elevado potencial de oxígeno (y a la baja temperatura) el producto final era acero y no hierro mezclado con muchos elementos indeseables.

El método moderno del alto horno puede parecer eficiente, pero todos saben que tiene ciertos puntos débiles: empleo de coque de alta calidad, una carga bien preparada, etc. Tiene más importancia, sin embargo, el hecho de que el alto horno nunca podrá dejar de usar aire, nunca obten-

drá un gas de desecho más pobre que el $\text{CO}/\text{CO}_2=1$, siempre producirá arrabio con contenido de Si, P, Mn, etc. y finalmente, que el costo de capital es elevado. El nitrógeno del aire es necesario para la transferencia de calor dentro de la cuba, pero también origina el gran volumen de gas que circula por el sistema de captación de polvo y en los precalentadores de aire. El nitrógeno también diluye el gas de desecho, y por tanto provoca que tenga poco valor. El proceso termina con la reducción por gas de los óxidos y por tanto el equilibrio de $\text{Fe}-\text{FeO}$ define la composición del gas. El costo de capital es elevado, debido a las plantas de sinter y de coque, la purificación del gas, la máquina soplante y los recuperadores.

Se han hecho muchas tentativas de encontrar mejores sistemas de reducción. Los métodos Wiberg y Purofer emplean solamente la reducción de gas sin fusión, y ambos son capaces de llegar a un gas de desecho que consiste en CO_2 , debido a la recirculación de gas. Los procedimientos que emplean un gas reductor a través de un horno de cuba son muy sensibles al deterioro de la permeabilidad de la carga y a la formación de canales a través de éste y por esto el diámetro de la cuba debe ser bajo.

Otro grupo de procedimientos emplean solamente el paso de la reducción "directa", oxidando el carbono a CO. El calor que se necesita para la reacción y el calentamiento se obtiene por combustión del CO encima de la carga. El método SL-RN y los métodos de reducción por fusión (Dored, EV) pertenecen a este grupo. La diferencia entre ambos sistemas consiste solamente en el nivel de temperatura.

Como se puede ver, estos dos principios de reducción completamente diferentes, tratan de utilizar solamente una de las formas de reducción que en el alto horno se combinan. Desde un punto de vista teórico sería más favorable usar solamente un principio de reducción y no mezclar dos en el mismo sistema. En mi opinión los métodos de "reducción directa" que funcionan a altas temperaturas tienen la mayor posibilidad de competir económicamente con el alto horno.

En aceración, además, los procedimientos anteriores consistían en una mezcla de operaciones que en ciertos casos se contrariaban mutuamente. Un caso muy típico es el del horno eléctrico de arco que se usa tanto para la fusión como para el afino. La fusión termina con un período de oxidación. Si se emplea una escoria reductora para el afino es preciso eliminar esta escoria y preparar una nueva. Esto toma tiempo, ya que todo el revestimiento del horno se impregna con la escoria oxidante. En la colada siguiente hay que restablecer las condiciones oxidantes.

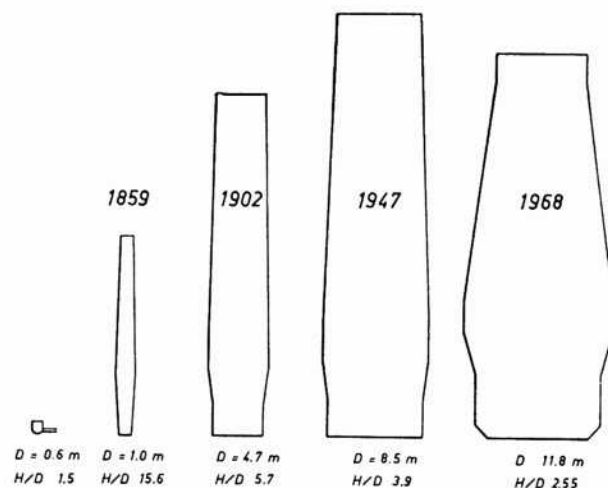


Figura 16

Evolución del alto horno.

Un método más efectivo consiste en separar los dos pasos del procedimiento que en verdad se oponen uno al otro. Hoy se hace esto cada vez en mayor escala. El horno eléctrico de arco del futuro inmediato se compondrá de un horno eléctrico de alta potencia que se use solamente para fundir y que sea lo más simple posible, por ejemplo sin bobina de agitación. El acero bruto pasará a otro recipiente parecido a una cuchara, en que se puedan realizar las operaciones que sean necesarias para obtener la calidad deseada. Esto se vio en el Cuadro I.

Esta división de la aceración en dos partes completamente distintas podría parecer, a primera vista, una complicación. El temor de acarrear costos de operación más elevados debido a la operación doble, es evidente. Pero si la división de la operación se realiza correctamente, el resultado final será un costo más bajo debido a un ritmo de producción más acelerado y establecimiento de condiciones más favorables para la etapa final de terminación.

Sin embargo, toda simplificación que se pueda aplicar a la secuencia de operaciones resultará, naturalmente, ventajosa. Como ya se dijo, sería muy interesante evitar la presencia de Si, Mn y P en el arrabio que constituye el material de partida para la aceración. Si el arrabio contiene solamente carbono, la aceración se simplifica en gran medida, y aquí reside tal vez una de las ventajas más importantes de los métodos de reducción por fusión.

El costo de capital de nuestra industria siderúrgica es elevado, aún en las plantas modernas. Una de las formas más importantes de disminuir el capital necesario es obtener elevadas tasas de producción. Se supone que el alto horno moderno es una instalación altamente productiva. Yo diría mas bien que tiene una elevada producción diaria, pero una producción específica más bien baja, en relación, por ejemplo, con el volumen del horno. Un alto horno que tenga la inmensa capacidad diaria de 7000 t/24 h tiene una producción específica de 2 t/m³, 24 h. En la figura 17 se puede ver que este ritmo corresponde a 280 litros de arrabio fundido por m³ y por día. Esto, en realidad, no resulta muy impresionante. En los métodos de reducción también debería ser posible llegar a un nivel del orden de 1 litro/m³/h como es el caso del sistema LD.

Conclusión.

El anterior estudio indica que en el futuro debiéramos tener una metalurgia de operación que emplee métodos siderúrgicos donde se ejecuten pequeños pasos controlables con precisión. No es posible ejercer este control en sistemas donde existen un número excesivo de variables independientes. El conocimiento teórico nunca se puede aplicar ventajosamente en sistemas tan complicados. Continuará, por tanto, la tendencia hacia secuencias de operaciones más "aerodinámicas".

Si la industria siderúrgica del futuro próximo continúa usando los métodos que prevalecen hoy, la tendencia será de fabricar un acero bruto como paso primario y realizar las operaciones finales (aleaciones, control de temperatura, desoxidación, eliminación de escoria, etc.) en otro recipiente. Lo anterior se aplicará a los dos tipos de materias primas: arrabio y chatarra. La chatarra se fundirá en hornos de arco, el arrabio se convertirá en acero crudo en convertidores LD. En ambos casos la composición final será la misma.

Pero si nuestra industria siderúrgica opta por reestudiar todo el problema de la fabricación del hierro y del acero, el resultado será muy distinto.

El gran cambio consistirá en pasar de la operación discontinua a la continua. En mi opinión, ya estamos encaminados por esta senda. Los breves intervalos entre coladas que se encuentran en el sistema LD constituyen una señal. La operación dividida para los aceros especiales que se describió es otra. El aumento de la producción de acero por colada continua en una tercera.

En el sistema discontinuo, figura 18, estamos cambiando la composición de la carga durante toda la colada. Cada colada significa una situación casi completamente nueva. Todo el horno, incluso el revestimiento, tiene que pasar por la tremenda variación entre una carga fría de chatarra o de arrabio fundido y el acero.

En la operación continua la mayor parte del acero se mantiene a una composición y temperatura constantes. El sistema se carga continuamente con materias primas y el producto final se vacía. En las dos figuras de la izquierda de la figura 18, las materias primas se añaden directamente al baño donde se realiza la reacción. En la figura de la derecha, (desgasificación en chorro, afino en chorro) la reacción química se realiza fuera de la masa del acero. Las posibilidades de variar el tiempo de reacción son probablemente menores en el segundo caso. Por tanto, el tipo de la izquierda parecería más adecuado a las reacciones entre escoria y baño, en tanto que el método de la derecha es apropiado para el contacto entre gas y metal.

En respuesta a la pregunta de cómo quisiera yo ver resueltos y aplicados los principios que he enunciado, presento la siguiente cadena continua de operaciones (figura 19). Alguien podría decir que esto parece imposible debido a los muchos pasos y recipientes diferentes que se emplean. Sin embargo, nuestro sistema convencional de fabricación de hierro y de acero, en operación y calidad similares, resulta aún peor. Entre la aglomeración y el lingote vaciado tenemos el mismo número de estaciones, aún sin contar todas las etapas de transporte.

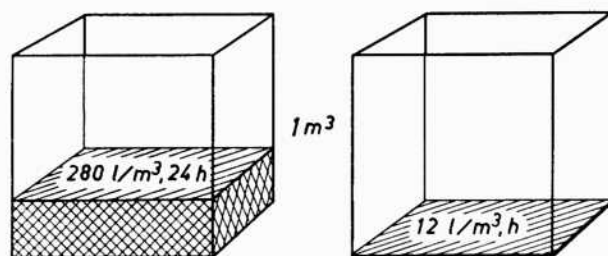


Figura 17

Producción específica en el alto horno.

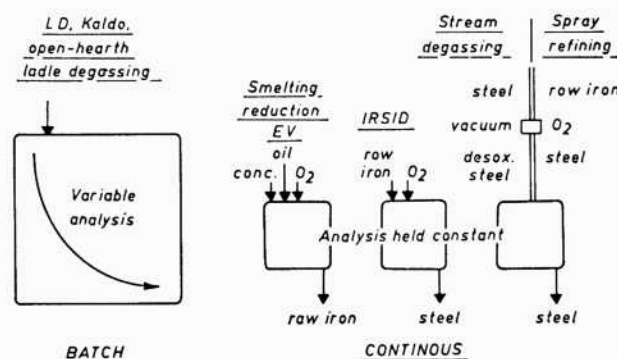


Figura 18

Trabajos discontinuo y continuo.

Open-hearth = horno de solera; Ladle degassing = desgasificación en cuchara; Stream degassing = desgasificación en chorro; Spray refining = Afino en chorro; Smelting reduction = reducción por fusión; steel = acero; row iron = arrabio bruto; vacuum = vacío; oil = petróleo; variable analysis = composición variable; desox. steel = desoxidación del acero; analysis held constant = composición mantenida constante; batch = trabajo discontinuo; continuous = trabajo continuo.

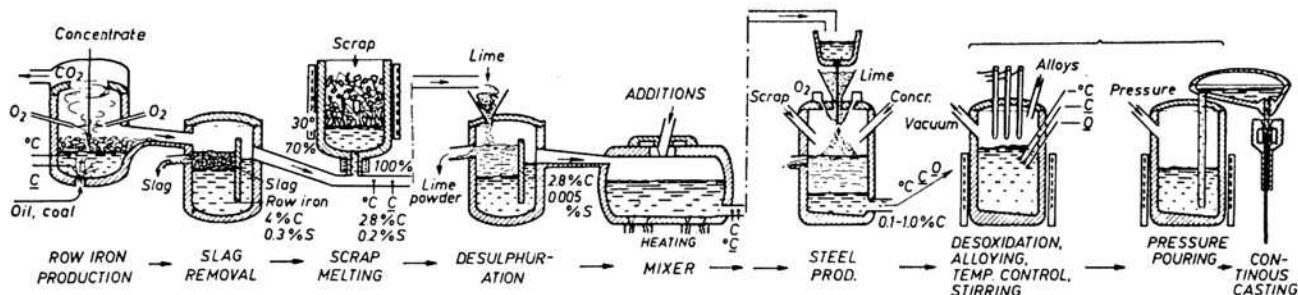


Figura 19

Serie de operaciones unitarias propuestas para la producción continua de acero. Concentrate = concentrado; oil = petróleo; coal = carbón; slag = escoria; raw iron = arrabio bruto; scrap = chatarra; lime = cal; lime powder = cal en polvo; additions = adiciones; scrap = chatarra; lime = cal; concentrate = concentrado; vacuum = vacío; alloys = aleaciones; pressure = presión; raw iron production = producción de arrabio bruto; slag removal = eliminación de escoria; scrap melting = fusión de chatarra; desulfuration = desulfuración; mixer = mezclador; steel production = producción de acero; desoxidation alloying, Temp. control stirring = desoxidación incorporación de aleaciones, control temperatura agitación; pressure pouring = vaciado a presión; continuous casting = colada continua.

El arrabio crudo (figura 19) se fabrica en un reactor en que el mineral o concentrado en polvo se agrega directamente al baño sin aglomeración. La carburación del baño se efectúa directamente con petróleo, gas o carbón. El baño de arrabio (4% C), agitado vigorosamente, mantiene la escoria con un bajo contenido de hierro. El oxígeno quema el CO que se forma y lo convierte en CO₂. La temperatura y el contenido de carbono del baño se miden continuamente.

La emulsión de hierro y escoria pasa a un recipiente en que elimina la escoria. El contenido de azufre del hierro es elevado, pero el contenido de Si Mn y P equivalen a cero.

Aquí se trae chatarra de la propia planta o de afuera, para poder desulfurar con elevado contenido de carbono. Se sugiere fundir la chatarra en un horno continuo de alta potencia, que tenga en el fondo una pequeña bobina de inducción para abrir continua o periódicamente el orificio del fondo.

El próximo paso es la desulfuración que aquí se realiza en un recipiente donde se obtiene una mezcla intensiva de cal en polvo y hierro líquido en bruto. Después de este paso la composición es de 2,8% C y 0,005% S.

Antes de la oxidación para formar acero, el material pasa por un mezclador que se calienta mediante bobinas de baja frecuencia, instaladas en el fondo. Aquí también se pueden llevar a cabo adiciones en el baño.

Los pasos de oxidación se muestran aquí en forma de aceración por chorro, que debiera ser apropiada para una composición en que sólo hay carbono. El enfriamiento se realiza con chatarra o, de preferencia con mineral concentrado. Luego de la oxidación se elimina la escoria. La temperatura, el contenido de carbono y de oxígeno del acero se miden constantemente.

El acero bruto se vacía en forma continua a una cuchara donde se agregan los elementos de aleación. Se ajustan la temperatura y la composición, el acero se desoxida y las inclusiones de escoria se eliminan mediante agitación intensa. Es posible usar el vacío, pero probablemente no sea necesario hacerlo, ya que el contenido de hidrógeno en una operación como esta será bajo.

En el último paso, la cuchara se vacía a presión a la máquina de colada continua. En esta forma es fácil regular la velocidad de vaciado. En este último paso se rompe la cadena continua, pues sería más fácil obtener así una composición exacta. Pero la operación de colada continua no se interrumpe entre cucharas.

Naturalmente, se pueden modificar muchos detalles de la cadena continua explicada, pero la idea general me parece que constituye la aplicación lógica del conocimiento fundamental teórico de cada proceso.

Investigación científico-tecnológica y metalurgia

Dr. Jorge A. Sabato
Comisión Nacional de
Energía Atómica de la
República Argentina.

I Ciencia, Tecnología y Desarrollo.

1—Los problemas del subdesarrollo preocupan por igual a políticos, militares, economistas, sociólogos, periodistas, filósofos, ensayistas; y mucho más, por supuesto, a los pueblos que los padecen. Para resolverlos se proponen a diario soluciones que cubren un amplísimo espectro: desde las que emplean las mayúsculas para convencernos fulminantemente de su efectividad (Revolución Social, Reforma Agraria Integral y Profunda, Alianza para el Progreso) hasta las muy modestas que se contentan con proponer el aumento del número de escuelas que imparten enseñanza primaria diferenciada; desde las de naturaleza ortodoxamente económica (la vuelta al patrón oro) hasta las puramente políticas (reforma del régimen parlamentario); desde las que suponen la fraternidad entre los hombres (Integración y Mercado Común) o el odio definitivo (Ejércitos de Liberación o Fuerza Panamericana); desde las muy pedantes (redistribución del ingreso en función de residuos crecientes de los costos marginales, o algo por el estilo) hasta las muy pedestres (distribución gratuita de anticonceptivos).

Muchas de las soluciones se parecen bastante a las recetas que durante la Segunda Guerra Mundial elaboraban los estrategas de café para derrocar a Rommel en África o impedir la invasión aliada en Normandía. No teman, sin embargo, que yo pretenda venderles mi propia receta. Creo que la superación del subdesarrollo resultará, no de la aplicación mecánica de una solución mágica, sino de la acción simultánea de diferentes medidas; pero en todo caso, y cualquiera que sea el camino elegido, el acceso a una Sociedad Moderna —que es el objetivo final del Desarrollo— supone necesariamente la muy activa participación de la investigación científico-tecnológica. Lentamente Latino-América comienza a tomar conciencia de este vital elemento; lentamente y casi a regañadientes; quedan todavía muchos funcionarios y burócratas que creen que la investigación es un lujo para países ricos, y empresarios que sólo piensan en adquirir patentes y pagar royalties. Olvidan que la nación que ignore esta tarea corre el peligro de no llegar siquiera a entender el lenguaje que emplearán los países más avanzados científicamente, y quedará simplemente al margen de la historia; y aunque ostente bandera e himno, su independencia y soberanía no serán más que huecos símbolos de un pasado que definitivamente terminó.

La investigación científico-tecnológica es una poderosa herramienta de transformación de una sociedad. Analizar cómo aplicarla en el campo de la Metalurgia y por qué ese campo es particularmente apto para América Latina son los objetivos específicos de esta disertación.

2—Nadie discute ya (quién realmente podría hacerlo en su sano juicio?) el dramático impacto de la Ciencia y la Tecnología en la economía de nuestra sociedad contemporánea. Trabajos ya clásicos de Kandrick y Abramovitz han demostrado que, en los últimos 75 años, la importancia del capital físico en el aumento de la productividad ha sido sumamente reducida si se la compara con la influencia del progreso tecnológico: así, para Estados Unidos, el 80% de la ganancia anual promedio proveniente del incremento de productividad ha correspondido a la tecnología, y el 20% restante al capital.

R. Solow —también para Estados Unidos— deduce que para el período 1909/1949, durante el cual el producto hora-hombre "per cápita" se duplicó, el 87% de ese aumento se puede atribuir al cambio tecnológico¹.

Para el caso de Francia, F. Perroux y su escuela han demostrado cuantitativamente la acción predominante de la innovación en la transformación de la industria francesa de posguerra.

Este aspecto del problema ha sido analizado exhaustivamente por numerosos autores^{2,3,4,5}. Para nuestros propósitos bastarán dos citas lúcidas y precisas.

De Leontief: "El sub-empleo crónico del conocimiento técnico tendría, a la larga, efectos aún más perjudiciales sobre la tasa de crecimiento económico que la existencia de capital no utilizado o de obreros sin trabajo"⁶.

De Galbraith: "Las inversiones (que se realicen únicamente) en capital físico continuarán originando crecimiento, pero será el crecimiento ineficiente que se combina con el estancamiento tecnológico".

Todo esto, por cierto, lo saben muy bien los dirigentes de los países desarrollados, y de ahí las astronómicas cifras destinadas a investigación: para el año 1966, 20.000 millones de dólares en EE. UU., 14.000 millones de rublos en la URSS, 850 millones de libras esterlinas en Gran Bretaña, 5.500 millones de marcos en Alemania Occidental, 6.000 millones de nuevos francos en Fran-

1 Technology and economic development. Scientific American, Sept. 1963.

2 L'entreprise et l'économie du XX siècle. Fl. Bloch-Lainé et F. Perroux (Presse Universitaire de France, 1966).

3 Technological innovation and economic growth. R. A. Chaple in Applied Science and Technological Progress, informe de la National Academy of Sciences (EE. UU., 1967).

4 Technological change and the world market. Barbara Ward en Applied Science and World Economy (Ninth meeting of the panel in Science and Technology, Committee on Science and Astronautics, U.S. House of Representatives, enero 1968).

5 The impact of research development on U.S. trade. D. B. Keesing (International Economic Workshop, Columbia University, 1966).

6 The structure of development. W. Leontief en Technology and Economic Development (A. Knopf, 1963).

cia... Inversiones fabulosas que movilizan ejércitos de investigadores: en las dos últimas generaciones se duplicó el número de hombres de ciencia cada diez años, por lo que el 90% de todos los hombres de ciencia que han existido desde Adán a la fecha, viven en la actualidad.

Los resultados de tan frenética actividad impactan dramáticamente nuestra existencia, y no sólo el universo cotidiano (salud, alimentación, vivienda, transportes, hábitos, tradiciones), sino también al que está más allá de la ficción: la transmutación de los elementos, realizada rutinariamente en centenares de laboratorios en todo el mundo; la liberación controlada de la energía nuclear; los radiotelescopios que escudriñan el espacio cósmico buscando otras civilizaciones; los rayos laser, con los que se puede soldar una estructura de acero u operar una retina desprendida; los trasplantes de órganos; los viajes espaciales y los cambios genéticos y los códigos de la herencia y los mecanismos de la sinapsis nerviosa y la microelectrónica y la esterilización por radiación y...

En pocas palabras: la Ciencia y la Técnica son dinámicos integrantes de la trama misma del Desarrollo; son efecto, pero también causa; lo impulsan pero también se realimentan de él.

3 — "Despierte, buen hombre" me gritarán ahora nuestros hombres "prácticos": esos hechos, esas cifras, esas citas, se refieren específicamente a los países desarrollados. Y con respecto a ellos, todos estamos bien informados y absolutamente convencidos. Por supuesto que incorporamos los productos de la Ciencia y de la Técnica a nuestra sociedad, pero de ahí a participar en su creación y desarrollo hay un gran paso. ¿Es que nuestros países sub-desarrollados —o en vía de desarrollo, como se dice ahora pudorosamente— tienen alguna chance de competir en terreno tan complejo y costoso? ¿Es que vale realmente la pena —frente a tantas otras urgencias inmediatas— distraer hombres y recursos en algo tan abstracto, difuso, y de largo plazo como la investigación? ¿No será más conveniente —e incluso más inteligente— dejar que, como hasta ahora, otros creen ciencia y tecnología y nosotros simplemente usufructuemos ese conocimiento y sus resultados?

Por cierto que últimamente estas preguntas no se formulan con tanta crudeza. Por el contrario, si aceptamos en todo su valor discursos que se dicen y palabras que se escriben, pareciera que en nuestros países todo el mundo está de acuerdo en que debemos hacer investigación. Tanto, que en la última Conferencia de Punta del Este, los Jefes de Estado de nuestras Repúblicas suscribieron una declaración cuyo capítulo V está casi totalmente dedicado a los problemas del desarrollo científico y tecnológico y donde, entre otras cosas, se dice textualmente:

"El adelanto de los conocimientos científicos y tecnológicos está transformando la estructura económica y social de muchas naciones. La ciencia y la tecnología ofrecen infinitas posibilidades como medios al servicio del bienestar a que aspiran nuestros pueblos. Pero en los países latinoamericanos este acervo del mundo moderno y su potencialidad distan mucho de alcanzar el desarrollo y nivel requeridos. La ciencia y la tecnología son instrumentos de progreso para la América Latina y necesitan un impulso sin precedentes en esta hora, etc., etc." Este clarísimo texto —y muchos otros que podríamos citar— parecieran desmentir nuestras odiosas preguntas. Lamentablemente, más allá de las bellas palabras están los duros hechos: las bajísimas tasas de inversión en ciencia y tecnología (0.15% del Producto Bruto Nacional en la Argentina, en 1965, que ese año fue el país de América Latina que más invirtió en esta área); la indiferencia ante la crónica migración de personal altamente calificado; la destrucción —por razones políticas— de laboratorios y centros de investigación; la falta de criterio objetivo para la selección y promoción de personal científico; los bajos salarios; las trabas burocráticas, las dificultades

administrativas, el olvido —a veces el desprecio— por parte de los empresarios, etc., son pruebas categóricas de que la aceptación por nuestras clases dirigentes de la importancia, necesidad y conveniencia de un esfuerzo propio en ciencia y tecnología no es más que una aceptación verbal, retórica, epidérmica.

4 — Creo entonces conveniente resumir los principales argumentos en favor de la tesis de que en nuestros países *debemos* realizar investigaciones científico-tecnológicas en forma seria, sostenida y permanente, y que para nuestro desarrollo no basta con la mera pasiva importación de conocimientos y tecnologías:

- a) la absorción de las tecnologías que todo país debe necesariamente importar es más eficiente si el país receptor dispone de una fuerte infraestructura científico-tecnológica. Esta infraestructura (hombres, instituciones, equipos) sólo puede crearse, mantenerse y progresar a través de la acción propia de la investigación.
- b) un número creciente de problemas socio-político-económicos (tratado de desnuclearización, intercomunicación por satélites, instalación de centrales nucleares, elección de armamentos sofisticados, modernización de la administración pública, instalación de nuevos complejos industriales, etc.) exigen que cada país tenga capacidad técnico-científica de decisión propia.
- c) El uso inteligente de los recursos naturales, de las materias primas, de la mano de obra y del capital —así como el problema de las economías de escala— requiere investigaciones específicas para cada país.
- d) La transformación de nuestras economías para satisfacer la necesidad imperiosa de industrializarnos y exportar productos manufacturados será tanto más exitosa cuanto más elevado sea nuestro potencial científico-tecnológico.
- e) La ciencia y la tecnología son promotores catalíticos del cambio social.

He dejado de intento para el final de esta lista el más importante de los argumentos, que A. Herrera, en un reciente artículo donde analiza en profundidad este tema, lo expresa con precisión: "Renunciar a la creación científica, una de las manifestaciones básicas de la voluntad creadora de una sociedad, para convertirse en meros apéndices intelectuales de los países adelantados, es renunciar a la posibilidad misma del desarrollo." 7

5 — Ante esta tanda de argumentos, los escépticos pueden todavía defenderse así:

"Aceptado que *debemos* hacer Ciencia y Tecnología. Pero es que acaso *podemos* hacerlo? ¿Con los escasos recursos disponibles, con nuestra pobre tradición científica, con nuestras crónicas crisis político-institucionales, con la estructura artesanal de nuestra industria...? Por cierto que no: la Ciencia y la Técnica son lujos de las sociedades ricas y nada se puede hacer cuando se ha llegado tarde al escenario histórico".

Esta posición derrotista es errónea y aceptarla sería equivalente a aceptar que en nuestros países es imposible la creación, justamente en momentos en que la poesía, la novela, la pintura, la escultura y el teatro latinoamericanos están considerados mundialmente como de primera línea, particularmente por su gran fuerza creadora. Su falsedad resulta de una confusión sobre lo que es y lo que no es esencial en investigación científica. Si bien es cierto que el fenomenal desarrollo de la ciencia ha transformado los modestos laboratorios de preguerra (en los que dicho sea de paso se produjeron los más fundamentales avances de la Física de este siglo) en verdaderas fábricas de conocimiento, con miles de personas que uti-

7 La ciencia en el desarrollo de América Latina. A. Herrera (Estudios Internacionales de la Universidad de Chile, Año 2, N.º 1 (abril-junio 1968, p. 38).

lizan equipos que provocarían la envidia de los más imaginativos productores de ciencia-ficción, la investigación sigue siendo —por supuesto— producto de la inteligencia humana.

Cierto que el trabajo en equipo y con medios abundantes aumenta la eficiencia y puede que estimule la creación —aunque muchas veces también la inhibe— pero es muy difícil que la produzca: la creación es un acto singular de una mente singular. Los que se encandilan con los equipos muy caros, los instrumentos muy sofisticados, los edificios muy funcionales, ignoran la verdad capital de que la creatividad es el componente esencial en la investigación. Un científico mediocre producirá ideas mediocres; y si se suman científicos mediocres, las ideas seguirán siendo mediocres por más dinero que se les inyecte. Por eso se ha dicho con razón que un laboratorio no vale por los metros cuadrados de edificio que ocupa ni por los millones de dólares en equipo e instrumental que posee, sino por la calidad y cantidad de materia gris de los hombres que la integran. El método científico —ese conjunto de reglas lógicas que costó a la Humanidad algunos miles de años estructurar— convierte el acto creativo, a través de un proceso complejo y confuso, en hecho eficiente. Sin pretender rigor epistemológico y simplemente a los fines de nuestro esquema presente, podríamos decir que la investigación científica es creación más método científico.

De este hecho fundamental —la Ciencia es, como el Arte, creación— resulta una consecuencia de enorme importancia para el problema que discutimos: la investigación científico-tecnológica es intrínsecamente *dinámica*. Jamás se detiene y, lo que debe recordarse siempre, jamás se podrá detener. No existe “último” acto en este proceso y siempre se puede llegar a tiempo, porque, en alguna medida, todo está siempre comenzando y todo le pertenece: los sueños del poeta, la dureza del puñal, la insolencia de los cohetes, los ruidos de la noche, el fragor de las prensas, la “vana música” del grillo, la armonía de las esferas celestiales, la prepotencia de los dictadores, la cuadratura del círculo, la omnipotencia de la entropía, las perplejidades de la herencia... Como el de Einstein, el universo de la investigación científica es “finito, pero sin límites”... El juego es abierto, el protagonista es el hombre y todos tenemos chance. Y la tendremos mayor en la medida que así lo entendamos y sepamos marchar en la dirección correcta. No, no es cierto que sea demasiado tarde y que ya no tenemos posibilidades. Recordemos que la condición fundamental para realizar una gran empresa es proponérselo como objetivo.

6 — Debemos y podemos, por lo tanto, hacer investigación. Ello supone la existencia de una infraestructura científico-tecnológica sólida, eficiente, creativa. Denominamos así al siguiente complejo conjunto de elementos articulados e interrelacionados entre sí:

- a) el sistema educativo que produce, en la calidad y cantidad necesarias, los hombres (científicos, tecnólogos, ayudantes, asistentes, operarios, administradores) protagonistas de la investigación;
- b) los laboratorios, institutos, centros, plantas pilotos, etc. (formados por hombres, equipos y edificios) en donde se hace investigación;
- c) el sistema institucional de planificación, promoción, coordinación y estímulo de la investigación (Consejos de Investigación, Academias de Ciencias, etc.);
- d) los mecanismos jurídico-administrativos que reglan el funcionamiento de los organismos descritos en a), b) y c);
- e) los recursos económico-financieros aplicados a su funcionamiento. La calidad de una dada infraestructura está determinada por la de todos y cada uno de estos elementos y de su armoniosa y permanente trabazón. Por eso la débil infraestructura científico-tecnológica de nuestros países resulta de la acción simultánea de varios factores: sistema educativo anticuado que no

sólo no produce hombres creativos sino que hasta los combate; mecanismos jurídico-administrativos llenos de rigideces, más preocupados por la contabilidad minuciosa que por la eficiencia, y generadores de una atmósfera burocrática realmente kafkiana; recursos escasos y mal distribuidos; olvido persistente de que la calidad de la investigación resulta de la calidad de los investigadores, por lo que éstos deben ser celosamente respetados y su libertad académica plenamente garantizada; planificación inexistente o de nivel rudimentario, incapaz de precisar metas o delinear estrategias; promoción y estímulo fuertemente influidos por el patronazgo político, o las relaciones sociales o la aceptación del “statu quo”; estructuras administrativas que dificultan la creación de cuadros técnicos auxiliares imprescindibles (vidrieros, proyectistas, torneros, electrónicos, etc.); remuneraciones que imposibilitan el desempeño “full-time” del personal; universidades anacrónicas en donde la investigación es considerada función secundaria; investigación casi nula en el sector privado y muy débil en el sector público ligado a la producción (energía eléctrica, petróleo, carbón, telecomunicaciones, siderurgia, transportes); etc. Reforzar la infraestructura supone actuar coordinadamente sobre el conjunto de los elementos que la integran, en función de un diagnóstico preciso y crudo del estado real de cada uno y de las circunstancias propias de cada país.

7 — Lamentablemente, no basta con construir una vigorosa infraestructura científico-tecnológica para asegurar que el país será capaz de incorporar la ciencia y la técnica a su proceso de Desarrollo: hay además que transferir a la realidad los resultados de la investigación, que acoplar esa infraestructura al aparato productivo de la sociedad.

Conviene ahora introducir el concepto de *innovación*, nombre con el que designaremos a la incorporación del conocimiento —propio o ajeno— a un proceso productivo —en el sentido amplio— para modificarlo. Es por cierto un concepto distinto al de investigación: el conocimiento transferido puede ser el resultado —directo o indirecto— de investigación, pero puede también ser simplemente una observación fortuita, un descubrimiento inesperado, una intuición a-científica, una conexión aleatoria de hechos dispersos.

Mientras que sobre investigación se sabe bastante —sobre todo se sabe lo que debe y lo que no debe hacerse para tener éxito— en cambio el proceso de innovación es poco conocido: intervienen en él una cantidad de elementos cuyo rol específico e interrelación se desconocen, elementos de naturaleza tan dispar como la estructura económico-financiera de la sociedad, la movilidad social, la tradición, las características de la clase dirigente, el sistema de valores de la sociedad, las necesidades concretas en una situación determinada, la estructura de las empresas, los mecanismos de comercialización, etc. Cada país en particular, y dentro de él cada sector y cada empresa, debe estudiar cuidadosamente el por qué y el cómo de la innovación, tratando de descubrir sus mecanismos e impulsarlos en la dirección correcta. Hay países que han sido muy exitosos en la innovación, mientras que otros —con igual o mejor infraestructura científico-tecnológica— lo han sido menos. Es ilustrativo comparar Gran Bretaña y Japón: mientras que en la primera la investigación ha alcanzado un muy alto nivel de creatividad —hasta el extremo de ser el país del mundo con más premios Nobel per cápita—, la innovación ha sido relativamente pobre —aparentemente por razones derivadas de la estructura empresarial, al extremo que varios tratadistas le atribuyen la mayor responsabilidad en el deterioro de la posición industrial británica, en el Japón, en donde la investigación, aunque de excelente nivel, no ha alcanzado el de Gran Bretaña, la innovación ha superado aparentemente la de todos los países del mundo. Fuentes impulsoras de la innovación son la guerra —fría o caliente— las necesidades del mercado, la sustitución de importaciones, la escasez de materias primas,

la mayor o menor disponibilidad de mano de obra calificada, la optimización de la inversión, etc. Barreras socio-culturales (la rutina, la falta de agresividad empresarial, el temor de los sindicatos), económicas (mercados monopolizados o altamente protegidos; mecanismos de comercialización rígidos, estructuras artificiales de precios y costos), financieras (fuertes inversiones no amortizadas, no disponibilidad de capitales), políticas (régimen impositivo, legislación sobre patentes, leyes de trabajo, leyes de fomento industrial) y científicas (infraestructura débil o inexistente) son las más importantes que se alzan frente a la innovación. Eliminarlas es una tarea vasta, compleja y hasta peligrosa, que va más allá del desarrollo de la investigación científico-tecnológica.

8 — Para terminar con esta larga y retórica primera parte y como sé que —aunque más no sea por razones probabilísticas— debe haber en la audiencia quienes no se dejan convencer solamente por argumentos —especialmente en relación con nuestras posibilidades en investigación e innovación— voy a analizar algunos ejemplos que ilustrarán los aspectos más destacados:

- a) La idea matriz de emplear oxígeno en la producción de acero está ya indicada en la patente Bessemer, pero hubo que esperar hasta la década de 1950 para que se la transformase en innovación (proceso LD) y hasta 1960 para que se convirtiese en un procedimiento industrial realmente significativo y de uso generalizado. Factores diversos contribuyeron a esta larga espera, que muestran la rica variedad de circunstancias que rodean la innovación: no disponibilidad de oxígeno en grandes cantidades y a precio conveniente; el buen resultado relativo de los procedimientos clásicos; la actitud conservadora de la gran industria siderúrgica, hasta hace poco una de las que menos invertía en investigación; la necesidad de amortizar inversiones en instalaciones tradicionales, etc.

Es muy aleccionador para nosotros que fuera un país pequeño (Austria) y una industria de escala reducida quien incorporase un proceso que había sido principalmente desarrollado en laboratorios suizos, también de una dimensión relativamente modesta. Aparentemente, la razón fundamental que llevó a la firma austriaca a adoptar LD fue la imposibilidad de financiar inversiones necesarias para ampliar su producción según el proceso clásico. También es aleccionador decir que LD no sólo no fue producto de la industria siderúrgica más poderosa del mundo (la de EE. UU.) sino que ésta estuvo —por años— muy poco dispuesta a adoptarlo. De paso conviene decir que esta misma industria estuvo ausente en otras dos innovaciones siderúrgicas importantes: la eliminación de hidrógeno por degasado en vacío y la fundición continua (creo que esto debería hacer meditar a los que todo lo esperan de los “grandes”...). Esta posición de la industria americana frente a LD tuvo repercusión desfavorable en aquellas plantas siderúrgicas de países de menor desarrollo que se instalaron hacia los primeros años del decenio 1950 y que fueron proyectadas por americanos: las compañías nativas, por falta de capacidad científico-técnica de decisión propia, aceptaron la opinión adversa a LD, y montaron equipos que —en principio, al menos— eran ya obsoletos antes de haber producido un solo kilogramo de acero.

Hay algo más aún sobre LD: como es sabido, la patente para EE. UU. fue finalmente adquirida por una importante compañía. Otra —más pequeña— pensó que, según la ley americana, LD no era patentable y para probarlo recurrió naturalmente a la investigación, realizada por un equipo técnico-científico de la universidad de Michigan. Una curiosa consecuencia semántica de ese trabajo es que en la mayor parte de las publicaciones americanas LD es ahora llamado BOF (Basis Oxygen Furnace)...

- b) Un caso muy singular de creatividad —innovación, también a nuestra escala, es el “recocido a rollo abierto” (open coil annealing) que con el simple expediente de dejar un espacio entre vuelta y vuelta del rollo —usando como separador un alambre retorcido— permite calentamiento uniforme, más rápido y controlable, así como carburar o descarburar, cromatizar, nitrurar, etc. Parece mentira que tan simple desarrollo se haya realizado recién hace pocos años.
- c) Un caso muy conocido por todos ustedes —y que por lo tanto me eximiré de analizar, pero no de citar— es el proceso Hojalata y Lámina desarrollado en México y verdadero modelo de una innovación generada en necesidades concretas. No es de extrañar que, según un reciente y meduloso informe de Luiz Corrêa da Silva⁸, el “esfuerzo más intenso en investigación en la siderurgia Latinoamericana se realiza actualmente en la compañía Hojalata y Lámina... con equipos e instalaciones de uso permanente”.
- d) Un ejemplo de tecnología exportada de un país chico a uno grande es el siguiente: en enero de 1958, Argentina puso en funcionamiento su primer reactor nuclear de investigación, construido íntegramente en el país y que funcionara desde entonces ininterrumpidamente y con todo éxito. Sus elementos combustibles —consistentes en chapas sandwich de una aleación aluminio-uranio— también fueron manufacturados en Argentina, con la valiosa colaboración de la industria metalúrgica. Meses después de la puesta en marcha del reactor, una importante compañía de Alemania Occidental, que necesitaba producir los mismos elementos combustibles compró la patente que protegía el método con que esos elementos habían sido producidos, método que fuera desarrollado en la Argentina por investigadores argentinos. Una nueva demostración de que si nadie tiene el monopolio en lo técnico-científico, todos tienen oportunidades de realizar desarrollos originales.
- e) El liderazgo mundial de Suecia en la transmisión de energía eléctrica en corriente continua y en la fabricación de tubos de Zircalloy, y el Canadá en la tecnología del agua pesada, así como la increíble hazaña de China continental —que hace apenas 25 años era considerada una de las naciones más atrasadas del planeta— fabricando bombas de hidrógeno y cohetes con cabeza nuclear y sintetizando la insulina, son ejemplos de cuán lejos se puede llegar si se sabe lo que se quiere.

II Metalurgia, Hoy.

1 — Hay pocos campos en donde la trama ciencia-tecnología-desarrollo esté más imbricada que en la Metalurgia; no hay desarrollo socio-económico sin industrialización, no hay proceso de industrialización sólido sin desarrollo metalúrgico; no hay desarrollo metalúrgico sin investigación e innovación. Por cierto que para nosotros, metalurgistas, todo esto es obvio —es uno de los datos básicos de nuestra profesión— y no perderé tiempo en analizarlo y fundamentarlo. Un solo ejemplo —de rigurosa actualidad— bastará para mostrar las catastróficas consecuencias de olvidarlo: Hace 10 años, EE. UU. era un neto exportador de acero, en el orden de las 5.5 millones de toneladas/año. Las importaciones, en cambio, eran reducidas: 1.2 millones de toneladas/año, un 1.5% del consumo total de EE. UU. Esta situación ha cambiado drásticamente: en 1967 las importaciones ascendieron a 11.5 millones de toneladas, superando a las exportaciones en la relación 10 a 1 y capturando así el 12% del mercado americano. Para este año ese porcentaje será del 15%, del cual corresponderá 40% a Japón, 17% a Alemania, 17% al Benelux, etc. Para defenderse, la industria siderúrgica americana ha soli-

⁸ Pesquisas siderúrgicas na América Latina. Luiz Corrêa da Silva Metalurgia 22 (N.o 105), agosto 1966, p. 61.

citado la imposición de cuotas para la importación de acero; la industria consumidora se opone a esa medida, sosteniendo que la misma protegerá a una industria ineficiente y cara: el acero extranjero cuesta entre 8 US\$ y 60US\$ menos por tonelada que el acero americano. ¿Cuál es el factor determinante de esta crítica situación? Escuchemos a los expertos Walter Adams (Michigan State University) y J. B. Dirham (University of Rhode Island), que declararon ante el Comité de finanzas del Senado americano: "El problema de la industria no reside en los altos salarios sino en la pérdida de su superioridad técnica". Como ejemplo, citan LD: en 1954 una pequeña compañía (Mc Louth) lo instaló por primera vez en EE. UU., pero los gigantes recién lo hicieron una década después: US Steel en Diciembre 1963; Bethlehem en 1964, Republic en 1965. Agregan: "Pese a que este nuevo proceso reduce los costos de operación en aproximadamente 5 US\$/ton y los costos de inversión en 20 US\$ a 25 US\$/ton de capacidad instalada, la industria siderúrgica americana compró —en la década de 1950— 40 millones de toneladas "of the wrong kind of capacity —the open hearth furnace". Concluyen lapidariamente: Much of the 1 US\$ billion worth of this capacity was obsolete when built and the industry by installing it, prepared itself for dying".

Aceptando entonces esas premisas, deseo extenderme en mostrar que la Metalurgia de hoy se presenta, para nuestros países, como una de las áreas más ventajosas para realizar con éxito una acción intensa en ciencia y tecnología.

Ello resulta de la convergencia de varios factores que producen significativos efectos sobre dos aspectos principales de la Metalurgia: el académico y el tecnológico-productivo. Analizaremos cada uno de ellos por separado.

2 — Académicamente, la Metalurgia es una disciplina compleja, en razón de la compleja realidad que trata de conocer y controlar: en todo problema metalúrgico interviene un elevado número de variables cuya interrelación racional se trata de describir empleando generalmente la Física y la Química, pero también la Ingeniería. Es una ciencia aplicada, según la definición de C. S. Smith⁹, que se propone "the wary analysis of non-living complexity"¹⁰ y cuyo encanto "lies in the perpetual balancing act between the realistic and the tractable"¹⁰. Justamente por su complejidad misma, no siempre es exitoso aplicar el método tradicional de la Física —reducir lo complejo a un "modelo" simple, manejable matemáticamente— por lo que uno sospecha que en muchos problemas metalúrgicos hay "algo" más —en sentido epistemológico— que Física y Química. Quizá allí radique la razón profunda de que viejos problemas como la solidificación y la recristalización —casi tan viejos como la Humanidad misma— no hayan sido aún resueltos: si bien de ellos se sabe bastante "en principio", se está aún lejos de poder predecir y controlar¹¹. Es por eso que la Metalurgia plantea un desafío intelectual muy importante: el de desarrollar la metodología más adecuada para manejar aquellas situaciones complejas que no pueden —intrínsecamente— ser reducidas a modelos "simples"¹².

Llegar a poner en duda la metodología misma de una disciplina es un signo inequívoco de su estado de crisis. Y eso es ventajoso para nosotros porque la probabilidad de participación exitosa de nuestros investigadores es mayor cuando el campo no está "cerrado", "estabilizado", "congelado", y porque de esa crisis resultarán —sin duda— nue-

vos conocimientos que derivarán en nuevas tecnologías, que podremos aprovechar plenamente en la medida que haya-mos sido actores en la crisis y no meros espectadores.

El análisis anterior es un enfoque muy particular que pretende ir al fondo del problema del estado actual de la Metalurgia, por lo que posiblemente muchos no estén de acuerdo con él, en particular con la aventurada trayectoria que implica. Independientemente de ello, sin embargo, es un hecho que en los últimos 30 años han ocurrido grandes cambios y avances en los más diversos campos metalúrgicos. Excitada por demandas novedosas y exigentes (energía nuclear, vuelos espaciales, comunicaciones, armamentos, aumentos masivos en la producción y consumo, etc.), la intensa labor académica en Metalurgia ha respondido con nuevos metales y aleaciones, nuevas propiedades, nuevos procesos. Por eso también en este sentido se puede decir que vivimos una "revolución metalúrgica" que ya ha tenido importantes consecuencias científicas —y también técnico-económicas— pero que las tendrá aún mayores en los próximos 20 años.

Para comprender mejor lo que está ocurriendo ahora, recordemos que hace unos 80 años, una profunda revolución conceptual transformó la artesanía metalúrgica en actividad científica y sentó las bases de una auténtica industria. Hasta entonces los metales eran manufacturados y transformados según recetas empíricas, generalmente secretas y muy similares a los procedimientos de los alquimistas de la Edad Media.

Operaciones industriales tan corrientes hoy como los tratamientos térmicos eran realizados con limitaciones tales que por ejemplo "templar aceros" era algo tan misterioso y errático que sólo se podía tener algunas posibilidades de éxito si se empleaba agua de "ciertas regiones"...

Pero entre 1863 y 1888 ocurren tres hechos fundamentales: Sorby en Inglaterra (1863) emplea por primera vez el microscopio para análisis de metales, Gibbs en los Estados Unidos (1876) enuncia la regla de las fases (que Roozeboom en Alemania aplica por primera vez (1885) al estudio de aleaciones) y Le Chatelier en Francia (1888) fabrica la primera termocupa realmente apta para trabajos de investigación. La acción simultánea de estas tres herramientas produce un rápido y profundo cambio (en 1900 Roozeboom publica por primera vez el diagrama hierro-carbono) y hacia 1910 técnicas como la microscopía metalográfica, el análisis térmico, la dilatometría, los ensayos mecánicos, la correlación con el análisis químico, se han incorporado definitivamente a la vida metalúrgica, y cuando a partir de 1915 los rayos X pasan a formar parte de este arsenal, se está entonces en condiciones de estar seguros que una aleación tendrá la composición que se le quiso dar, las propiedades mecánicas más adecuadas, la estructura más conveniente. Se dispone, además, de los conocimientos teóricos para interpretar resultados experimentales que pocos años antes hubieran sido dejados de lado por incomprensibles. Sería ocioso enumerar y analizar todas las consecuencias de aquella revolución conceptual: conviene sólo no olvidar que —en un extremo del espectro— ella confirió a la Metalurgia dignidad académica; en el otro, que asentó los fundamentos de la gran mayoría de los procesos metalúrgicos industriales vigentes hoy.

En el momento actual, los problemas centrales de la Metalurgia —solidificación, endurecimiento, recristalización, fatiga, fractura, "creep", transformaciones de fase, unión, desgaste y corrosión— son atacados por miles de investigadores que emplean poderosas herramientas teóricas (mecánica cuántica, mecánica estadística, teoría de dislocaciones, topología, etc.) y sofisticadas técnicas y equipos (ultra alto vacío, temperaturas cercanas al 0°K, daño por radiación, difracción electrónica y neutrónica, microscopía iónica y electrónica, sonda electrónica, análisis por activación, isótopos radiactivos, computadoras electrónicas, espectrometría de masa, resonancia paramagnética, etc.). La semejanza de los problemas a resolver, de los objetivos a alcanzar y de los métodos empleados han ampliado

9 A historical view of one area of applied science — Metallurgy, C. S. Smith in Applied Science and Technological Progress, informe de la National Academy of Science (EE. UU., 1967).

10 What is material science? R. W. Cahn, Discovery, julio 1965, p. 41.

11 Metallurgy today, B. Chalmers, International Science and technology, N.º 53, mayo, 1966, p. 18.

12 En el artículo citado en 9, C. S. Smith analiza con raro talento las relaciones profundas entre ciencia y ciencia aplicada. Termina diciendo: "If science does become more complex in the future, then it seems likely that the separation between the pure and applied scientist will be less obvious than it has been in the past".

el campo de la Metalurgia tradicional, que hoy incluye no sólo a metales y aleaciones, sino también a cerámicas, polímeros, vidrios, etc. y han obligado a rebautizarla con el nombre algo pomposo de Ciencia de los Materiales.

Este ataque masivo ha producido ya resultados importantes. A veces, simplemente llevando hasta sus últimas consecuencias conocimiento disponible desde hace años (como el método de purificación por fusión zonal; la eliminación de hidrógeno en aceros por degasado en vacío; la producción de aceros por método LD; la colada continua; fusión por electrodo consumible; sinterización de materiales refractarios, evaporación como base para resolver el problema del "reingreso" de vehículos espaciales; deformación por explosivos, etc.); otras, desarrollando y aplicando nuevos conceptos (anclaje de dislocaciones, como en el desarrollo de aleaciones resistentes a creep; interacción de átomos de carbono y dislocaciones ("atmósfera" de Cottrell) como en el entendimiento y control del fenómeno de fluencia y la formación de bandas de Lüders, la coalescencia de grupos de dislocaciones para formar núcleos que originan fractura frágil; sinterización sin poros para producir cerámicas transparentes como lucalox; teorías cuánticas de la conducción eléctrica y de las propiedades magnéticas, base del desarrollo de semiconductores, superconductores y nuevos materiales magnéticos; producción por aplicación de tensiones, de martensita en una matriz de austenita —con el consiguiente aumento de volumen—, como en las aleaciones "autosellantes"; gran aumento de ductilidad cuando hay deformación simultánea con una transformación de fases, como en las aleaciones superplásticas; zonas de Guinier-Preston y sus características principales, como en la producción de aleaciones termotratables, etc.

Estamos, pues, inmersos en un proceso extremadamente dinámico —situación de por sí favorable para la creatividad— y que aún se mantiene en buena medida en una escala cercana a nuestras posibilidades: no siempre se requieren super equipos que cuestan decenas de millones de dólares (o centenas, como en ciertos campos de la Física Nuclear), y es sorprendente lo que se puede hacer todavía —cuando hay talento— con un buen microscopio metalográfico (descubrir las subestructuras de deformación, por ejemplo), un horno adecuadamente instrumentado (estudiar la solidificación pre-dendrítica), un equipo de rayos X (descubrir poligonización o las zonas de Guinier Preston), un péndulo de fricción interna (inter-acciones gas-metal), un buen calorímetro (evolución —durante el recocido— de la energía interna almacenada en un metal deformado); una máquina de tracción (dilucidación del mecanismo del efecto Portevin-Le Chatelier), un equipo para medir conductividad eléctrica (cinética de la creación y eliminación de defectos puntuales). Por cierto que el grado de sofisticación y los costos de inversión y operación del instrumental metalúrgico crecen día a día y que la incorporación de esos modernos equipos resulta muy conveniente, pero lo que debe comprenderse es que todavía se está en un "orden de magnitud" accesible a nuestras posibilidades.

3 — En los últimos 25 años la interacción entre la "revolución académica" y la estructura técnico-productiva de la Metalurgia se ha realizado según ciertos esquemas:

a) En respuesta a nuevas demandas, la investigación desarrolló productos y procesos que originaron así nuevas ramas de la Metalurgia, como la Metalurgia Nuclear, la Metalurgia de Semiconductores, la de metales refractarios, etc. De ellas se puede decir que "nacieron en los laboratorios".

b) El advenimiento de la "affluent society" de Galbraith —con su insaciable apetito de consumo— exigió que las viejas ramas de la Metalurgia promoviesen —con no mucho entusiasmo— la investigación y —con un poco más de confianza— la innovación. Desenterraron viejas ideas (la colada continua fue desarrollada por Bessemer),

desempolvieron viejas patentes (Jones en 1901 en Estados Unidos, patentó la deformación por explosivos para hacer barriles), re-descubrieron viejos conocimientos (la ley de Sievert como fundamento del degasado en vacío, y las transformaron en procesos productivos. Y lo mismo hicieron con la extrusión en frío empleando lana de vidrio como lubricante, la laminación por paso de peregrino, los tratamientos térmicos en atmósferas controladas, la fundición de precisión, la reducción directa.

c) El éxito creciente en el conocimiento de ciertos mecanismos metalúrgicos básicos impulsa su aplicación al logro de objetivos prefijados. Un ejemplo muy ilustrativo es lo que ha ocurrido en los últimos años con el mejoramiento de las propiedades mecánicas de los aceros, que analizamos en detalle más adelante.

d) Otros desarrollos científicos (computación, instrumentación, técnicas de simulación, electrónica, radioisótopos, etc.) permiten la programación y automatización de líneas completas y continuas de producción.

e) El grado de sofisticación de la nueva tecnología obliga a una revisión continua del sistema educativo, particularmente en sus más altos niveles.

Siguiendo principalmente estos esquemas —y también otros más coyunturales— la interacción entre ambos mundos —el académico y el productivo— ha ido creciendo sin cesar, ha producido resultados muy satisfactorios y ha terminado por incorporarse definitivamente a la estrategia para conocer, para transformar y para utilizar el mundo de los metales.

4 — Creo que de los esquemas reseñados en 3, merece una consideración más detallada el c), porque corresponde al tipo de interacción que mayores promesas ofrece: un conocimiento más sólido de los fenómenos básicos implica mayores posibilidades de diseño y control de propiedades y procesos. Dijimos que un buen ejemplo es el de la búsqueda de nuevos métodos para mejorar las propiedades mecánicas de hierros y aceros. Así lo demuestra un breve análisis de sus características más destacadas:

a) El objetivo final es obtener materiales ferrosos con una resistencia a la tracción tan cercana como sea posible a la teórica, compatible con una elongación que permita su trabajado posterior. Dicho valor teórico es:

$$\frac{G}{10} = 840 \text{ kg/mm}^2$$

(siendo G el módulo de corte del hierro), pero si imponemos la condición de que el material posea también una elongación del 10%, el objetivo es llegar a tensiones de fluencia de unos 550 kg/mm². Con tales características, ese material alcanzaría —luego de trabajado— una resistencia a la tracción de unos 840 kg/mm².

b) Cómo lograr ese objetivo? La teoría de las dislocaciones, al demostrar que las propiedades mecánicas de un metal están estrechamente vinculadas a la cantidad de dislocaciones que posee, a su distribución, a su movilidad, a su inter-acción con límites de grano y con partículas distribuidas en la matriz, a sus mecanismos de aniquilación y multiplicación, etc. se ha constituido en el instrumento más poderoso de análisis y ha posibilitado el ataque del problema simultáneamente en varios frentes:

b₁) Tamaño de grano.

Es un hecho conocido que a menor tamaño de grano corresponde mayor resistencia mecánica —los límites de grano son obstáculos para la movilidad de las dislocaciones, por lo que aumenta la resistencia a la deformación

—y por tal razón (junto con otras) se usan en siderurgia distintos refinadores de grano (Al, V, etc.). Sin embargo, fue recién en 1952 que Petch estableció matemáticamente la relación entre tamaño de grano y fluencia, que permitió calcular el valor teórico máximo que podría alcanzar la resistencia por el solo efecto de la disminución del tamaño de grano: 300 kg/mm². Experimentalmente se está aún lejos de ese valor y teóricamente nuevos problemas —como el del papel de las subestructuras de deformación y su influencia en la recrystalización esperan solución; tecnológicamente, sin embargo, ya ha tenido aplicaciones como en el recocido ultrarrápido de chapa (método continuo BISRA).

b₂) Endurecimiento por trabajado.

Se trata, sin duda, del método más antiguo de aumentar la resistencia de un metal y su explicación teórica es, en principio, muy simple: el trabajado aumenta el número de dislocaciones, con lo que aumenta su resistencia.

Se han obtenido así aceros austeníticos con valores de tracción superiores a los 140 kg/mm², pero se está lejos aún de un conocimiento acabado de este fenómeno, como lo demuestra el hecho de que recién en 1967 se haya logrado explicar el elevadísimo valor de la resistencia (300 a 400 kg/mm²) de un producto conocido hace más de 100 años: el alambre cuerda de piano, producido por patented y deformación posterior, en donde el espaciado de la perlita sería el responsable principal, actuando al estilo del moderno refuerzo por fibra.

b₃) Endurecimiento por precipitación y por dispersión.

El principio teórico es también simple: impedir la propagación de dislocaciones mediante la distribución adecuada de partículas con las características convenientes, producidas por precipitación de una matriz sobresaturada en soluto substitucional o intersticial.

Basado en este principio se han obtenido algunos resultados importantes en aleaciones ferríticas, como el de los aceros estructurales de bajo costo conteniendo pequeñas proporciones de Nb (0,01 a 0,04%) lo que permite obtener fluencia del orden de 35 kg/mm² y tracción de 42 kg/mm²; los aceros estructurales de alta resistencia, alta elongación y soldables mediante el uso simultáneo de V —como refinador de grano— y Nb como endurecedor por precipitación;¹³ los aceros estructurales de super-alta-resistencia —como el Republic “65” con 56 kg/mm² de fluencia, 70 kg/mm² de tracción y 25% de elongación— mediante el uso de cantidades elevadas de Cu (1%) y la precipitación de partículas que no son carburos. Resultados más espectaculares se han obtenido con la precipitación de intermetálicos en aceros austeníticos para alta temperatura o en aceros inoxidables martensíticos o semiausteníticos del tipo 17-4PH o 17-7PH, que culminaron en los trabajos de Bieber (1960) con el desarrollo de los aceros “maraging”. En estos, como es sabido, un balance adecuado de composición (se trata de aceros prácticamente sin carbono) es posible obtener una martensita relativamente blanda (Rc 25-30) que puede ser maquinada, y endurecida posteriormente —hasta Rc 50-55— posiblemente por precipitación de intermetálicos, gracias a la histéresis de la reversión de la martensita (si, por ejemplo, se forma a los 250°C, no revierte hasta los 600°C); las propiedades finales son notables: 200 kg/mm² de fluencia, 215 kg/mm² de tracción, 8-10% elongación, fácilmente soldable y con muy alta resistencia al impacto, a la fatiga y a la corrosión.

b₄) Endurecimiento martensítico.

Es bien conocido que la martensita de los aceros al carbono es muy resistente; en cambio se conocen mucho menos las causas de esa importante propiedad, por lo que el desarrollo en la modificación de propiedades de estruc-

turas martensíticas ha sido lento y tortuoso. En particular no se sabe aún cuál es la contribución real de cada uno de los factores que pueden intervenir, a saber:

- endurecimiento por solución sólida intersticial de carbono;
- influencia de las imperfecciones previamente presentes en la austenita original;
- Influencia del tamaño de grano de la austenita original;
- influencia de las imperfecciones producidas durante la transformación;
- influencia de la estructura interna de la martensita..

Así, por ejemplo, durante mucho tiempo se adjudicó el mayor efecto al carbono intersticial presente; últimamente, sin embargo, se ha demostrado que entre una martensita de bajo carbono (0,1%) y una de alto carbono (1%) la mitad de la diferencia se debe a la estructura interna de la martensita. Pese a que los mecanismos básicos no han sido aún dilucidados satisfactoriamente, ha resultado un desarrollo técnico muy importante: los tratamientos termo-mecánicos. El más notable es el *ausformado*¹⁴, originado en un trabajo de Lips y Van Zuiler (Holanda, 1954) que probaron que una deformación previa de la austenita antes de la transformación martensítica mejora apreciablemente las propiedades mecánicas de esta última. Los trabajos posteriores de Zackay y asociados llevaron a obtener materiales de 260 kg/mm² de fluencia y 340 kg/mm² de tracción con elongaciones del orden del 8%. Es posible que en el transcurso de este año se efectúe la primera producción en escala industrial de hojas de elásticos para automotores fabricadas en acero 5160, ausformado.

5— Si analizamos ahora nuestra propia realidad técnico-económica, observamos que en el campo de la Metalurgia se nos plantean a diario problemas concretos cuya correcta solución —en función de nuestras posibilidades y para satisfacer nuestras necesidades— exigen realizar investigación y generar y propagar innovación:

- a) Elección entre tecnologías competitivas: alto horno o reducción directa? LD, Siemens-Martin o qué? Degasado en vacío o fusión por electro-slag?
- b) Desarrollo de tecnologías específicas para nuestras economías de escala, optimizadas en función del tamaño del mercado y de la disponibilidad relativa de materias primas —recursos humanos, recursos económico-financieros: Por qué estampar chapa con matrices construidas para series de millones de unidades si nuestro mercado puede absorber apenas algunos centenares de miles? Por qué doblar o cilindrar con grandes prensas y no emplear deformación por explosivos? Por qué aceros al molibdeno y no aceros al tungsteno? Automatizar qué, cuánto y cómo?
- c) Análisis cuidadoso de las investigaciones en curso y evaluación continua de las posibilidades de derivar de ellas nuevos usos, productos y procesos: qué pasará con la aplicación de ultrasonido a la trefilación?, o con el descubrimiento de que en ciertos metales el estado de recrystalización parcial es más dúctil que el de recrystalización total; o con el endurecimiento por radiación; o con el endurecimiento por radiación; o con la super-plasticidad, etc.?
- d) Vigilancia del impacto de la investigación sobre nuestras materias primas: recordar que la tendencia general es la de desarrollar productos en donde el componente económicamente más importante sea —no la materia prima, como en el pasado— sino el “know how” que contiene.

¹³ A history of nickel steels from meteorites to maraging. R. R. G. Yeo and O. O. Miller. The Sorby Centennial Symposium on the History of Metallurgy, AIME, 1963.

¹⁴ The strength of steels. V. F. Zackay. Scientific American, August 1963. p. 72.

- e) Asignación de prioridades en la instalación de nuevas líneas de producción y de beneficios en la radicación de capital extranjero.
- f) Negociación de licencias y patentes, de programas de asistencia técnica, de empleo de consultores, de acuerdos de complementación regional, zonal o sectorial.

Cuál es la estrategia más adecuada para adquirir la capacidad técnico-científica de decisión propia que se requiere para resolver situaciones de esta naturaleza? Por cierto que no existe una receta mágica y única, pero las conclusiones de nuestro análisis del proceso ciencia-tecnología-desarrollo aplicadas en el marco de referencia de la situación actual de la Metalurgia nos permiten proponer un conjunto de acciones a nivel nacional y multinacional:

- a) Promover dinámica y agresivamente la investigación metalúrgica. Con tal objeto deberá tenerse en cuenta que:

a₁) En América Latina la infraestructura científico-tecnológica en Metalurgia es muy débil, como lo ha probado —para el caso de la siderurgia— el excelente documento de L. Corrêa da Silva⁸. Es imperativo un inmediato refuerzo de la misma, actuando simultáneamente sobre el conjunto de los elementos que la integran de acuerdo con la definición que hemos dado en I-5 de este mismo documento. Esta es una vasta tarea que implica reformas en el sistema educativo, drástico aumento en las inversiones, revitalización de esclerosis mecanismos administrativos, rejuvenecimiento de instituciones, etc; y, por sobre todas las cosas, respeto y estímulo de los investigadores.

a₂) Como a investigar se aprende investigando, utilizar al máximo los centros ya existentes cooperando para que adquieran máxima excelencia en el mínimo tiempo y se conviertan en verdaderos semilleros de investigadores.

a₃) La cualidad esencial de la investigación es la creatividad, por lo que deberá hacerse tomar conciencia de ello a todos los niveles, muy particularmente al nivel administrativo.

a₄) La polémica sobre el tipo de investigación que conviene hacer: básica, aplicada, básica-aplicada, aplicada-básica, es particularmente en Metalurgia, un galimatías semántico que poca utilidad presta y causa bastante perjuicio. Conviene establecer el principio más simple de que existen sólo dos clases de investigación: la buena y la mala, y que —naturalmente— la que debe apoyarse es la buena. Más abajo mostraremos cómo se puede emplear ésta en la solución de problemas concretos específicos.

- b) Establecer canales de comunicaciones entre los centros de investigación, los órganos gubernamentales responsables de la política metalúrgica y las empresas metalúrgicas, públicas y privadas. Por esos canales deberán circular demandas, ideas, recursos, hombres. Esta interacción es el único medio de terminar con el aislamiento y alienación de los investigadores, de formular inteligentemente prioridades de desarrollo, de utilizar eficientemente "know-how" propio y ajeno, de generar y propagar innovación, de optimizar el empleo de recursos propios, etc.

A través de esta interacción se podrá motivar a los buenos investigadores —que hacen la "buena investigación" a que nos referimos en a₄— para que apliquen su talento a la solución de problemas concretos y estimularlos para lograr el acople entre los resultados académicos y la realidad.

La interacción fomentará también el establecimiento de una "atmósfera de creatividad", de un "clima de innovación", poderoso estímulo psicológico-social que caracteriza las sociedades modernas y dinámicas. Finalmente, esta

integración permitirá la creación de una suerte de "ciencia metalúrgica latinoamericana", único fundamento sólido de la estructuración de programas multinacionales específicos.

6— Quisiera terminar explicando brevemente cómo hemos aplicado nosotros —en la Comisión Nacional de Energía Atómica— la estrategia delineada en el punto anterior.

La producción y utilización de energía nuclear exigen el desarrollo y empleo de conocimientos y técnicas metalúrgicas del más alto nivel. Esto es particularmente cierto en el caso de un reactor nuclear— de investigación o de potencia— en donde la gama de problemas metalúrgicos va desde la pureza que debe tener el uranio o el óxido de uranio para que la reacción en cadena no se detenga, hasta la resistencia mecánica del recipiente de acero que contiene al núcleo del reactor; desde las numerosas y complejas etapas de fabricación de elementos combustibles hasta la resistencia a la corrosión de los diversos componentes; desde las propiedades físicas fundamentales (densidad, conductividad térmica, conductividad eléctrica, etc.) de los distintos metales, aleaciones y óxidos que se utilizan en el reactor hasta las técnicas más aptas de fundición, forjado, laminación, sinterización, etc. necesarias para su manufactura, etc. Un reactor nuclear es uno de los universos metalúrgicos más complejos y comprometidos que se puede imaginar.

Cuando en 1965 la CNEA decidió organizar sus laboratorios de Metalurgia, la situación de esta disciplina en Argentina era la siguiente:

- a) Pese a la importancia que ya había adquirido la industria metalúrgica liviana y semi-pesada (por ejemplo se producían entonces unas 100.000 refrigeradoras por año, y en el sector de máquinas herramientas era frecuente la exportación de tornos), en ninguna de las universidades argentinas existían las carreras de ingeniería o doctorado en Metalurgia.

- b) No se efectuaba investigación metalúrgica organizada, sistemática y moderna en ningún laboratorio estatal (incluyendo las universidades) o privado.

En síntesis: la CNEA debía partir prácticamente de cero. Era entonces particularmente crítico elegir el camino más conveniente:

- a) La CNEA podría olvidarse por completo del estado general de desamparo académico de la Metalurgia y aplicar todo su esfuerzo a su problema específico: formar personal en Metalurgia Nuclear con destino a sus laboratorios de Metalurgia Nuclear.

- b) La CNEA podía tener en cuenta que:

b₁) la falta de actividad en entrenamiento e investigación en Metalurgia afecta al desarrollo técnico general del país, y en particular al de su industria electro-mecánico-metalúrgica, elemento fundamental en la construcción, instalación y operación de reactores nucleares.

b₂) Académicamente, la Metalurgia Nuclear no es más que una rama de la Metalurgia.

b₃) La importante inversión en hombres, equipos y edificios que debe realizarse para poner en funcionamiento laboratorios adecuados para resolver los difíciles problemas de Metalurgia Nuclear, será socialmente mejor empleada si no se restringe su empleo sólo a ese campo de la Metalurgia.

Y decidir entonces:

Capacitar su personal con una sólida formación en Metalurgia General Moderna.

Promover el desarrollo de actividades académicas de entrenamiento e investigación en todo el ámbito de la Metalurgia.

Instalar y organizar sus laboratorios en forma tal que, simultáneamente con los trabajos específicos en Metalurgia Nuclear, estuviesen en condiciones de cooperar con la industria y las universidades en otras investigaciones y desarrollos metalúrgicos.

La CNEA eligió esta segunda estrategia y su Departamento de Metalurgia no sólo desarrolló y fabricó todos los elementos combustibles para sus reactores nucleares, sino que su personal publicó más de 200 trabajos científicos y técnicos y atendió cerca de 450 consultas provenientes de la industria metalúrgica.

En el aspecto específico del desarrollo de recursos humanos, el resultado de esta estrategia puede evaluarse con los siguientes datos:

En CNEA han recibido entrenamiento metalúrgico 325 profesionales. De ellos actualmente 55 trabajan en CNEA; unos 205 en la industria y 65 en universidades y otros centros de enseñanza y/o investigación. Han recibido entrenamiento metalúrgico 120 técnicos; 44 trabajan actualmente en CNEA; 60 en la industria; 15 en universidades y otros centros.

Se han preparado 15 tesis doctorales.

En 1962, la CNEA creó —con la Asociación de Industriales Metalúrgicos un organismo especial (SATI - Servicio de Asistencia Técnica a la Industria Metalúrgica) con los siguientes objetivos:

Prestar asesoramiento técnico-científico a la industria argentina en todos los problemas derivados de la fabricación y uso de metales, aleaciones, cerámicas y productos semielaborados y elaborados.

Difundir nuevos métodos de producción, la aplicación de nuevos metales, la substitución de aleaciones, el desarrollo de nuevos equipos, etc. Realizar las investigaciones de desarrollo que resulten de las características propias del mercado argentino, de la naturaleza de las ma-

terias primas disponibles, de la accesibilidad de máquinas y equipos, del grado de entrenamiento y capacitación del personal, del resultado de avances en el conocimiento básico, etc.

Preparar a la industria para una amplia participación en la profunda transformación tecnológica que resulta del desarrollo científico.

Para cumplir estos objetivos, el SATI:

- Organiza cursos especiales para personal de la industria.
- Organiza seminarios, mesas redondas, coloquios, etc. sobre problemas industriales específicos.
- Recibe y estudia consultas técnicas (hasta el presente unos 450 problemas han sido estudiados por el SATI).
- Realiza investigaciones de desarrollo (ejemplos: un nuevo tipo de atmósfera protectora para el recocido brillante de cobre y aleaciones; aleaciones especiales para filtros destinados a la industria cervecera; un nuevo tipo de material refractario para la fundición de aluminio; un nuevo proceso para la fabricación de evaporadores de aluminio para refrigeradoras, etc.).
- Difunde conocimiento metalúrgico mediante conferencias, publicaciones, folletos. "stands" en exposiciones, etc.

El SATI está íntimamente ligado al Departamento de Metalurgia de CNEA y puede así emplear todas sus instalaciones y —especialmente— todo el conocimiento metalúrgico que poseen sus investigadores. De esa manera investigación básica y aplicada constituyen un espectro continuo, un universo metalúrgico sin fronteras interiores.

Para el Departamento de Metalurgia, el SATI es una ventana abierta a la realidad, el mecanismo para acoplar investigación e industria; y es también el instrumento estratégico por medio del cual se persigue —a través de la transformación y superación de la industria electro-mecánica-metalúrgica— la puesta en marcha de una industria nuclear argentina.



Síntesis de los debates originados por las Conferencias Económicas y Científicas.

Respecto de la Conferencia del Sr. Charles Baker.

A. Gómez — Agradezco al Sr. Baker su presencia en nuestra reunión anual y la completa exposición que ha hecho sobre el I.I.S.I. y la actual situación de la economía mundial del acero. El Sr. Baker está demostrando con estos hechos la importancia que él concede, tanto a nuestro Instituto como a las industrias de esta región. Debido a que en su conferencia ha hecho referencia a dos aspectos diferentes, voy a dividir la discusión en dos partes, como un medio de ordenar el debate.

Dada la importancia que tiene para todos los industriales del acero la creación de un organismo internacional de carácter privado, tal como el ILAFA, que se preocupa de los problemas de este sector, deseo solicitarle al Sr. Baker que nos cuente algo acerca de los orígenes del Instituto Internacional del Hierro y el Acero, de las empresas y las personas que intervinieron en su creación y de las condiciones de la economía mundial del acero que hicieron que esa idea se concretara tan rápidamente.

Ch. E. Baker — La historia es bastante larga. Abreviando, el Instituto nació más o menos en forma espontánea. Creo que lo que motivó esto, fundamentalmente, fue que las principales asociaciones nacionales han tenido tanto éxito con sus problemas que, más o menos al mismo tiempo, los jefes, los principales ejecutivos de los mayores productores, pensaron que si esto daba buen resultado a nivel nacional debía intentarse a nivel internacional. En este momento, la creciente importancia del comercio internacional del acero que culminó con el gran aumento de las importaciones en los Estados Unidos, atrajo mayor atención sobre el comercio internacional, lo que también condujo a los jefes de empresas a pensar en establecer una organización internacional en que se pudiera estudiar y discutir estos asuntos.

La gran diferencia que se iba viendo entre la capacidad de producción y consumo en los últimos años y que se hacía cada vez más notoria, creo que contribuyó a la idea de que había que hacer algo para resolver el problema.

Los cambios de estructura que mencioné, que incluso rebalsan las fronteras y la necesidad de que los ejecutivos de las empresas siderúrgicas tuvieran el lugar y la oportunidad para reunirse y analizar abiertamente sus problemas, indicaron la conveniencia de establecer un mayor intercambio internacional.

La idea que había estado germinando hace algún tiempo salió a luz, me parece, en una reunión que sostuvo la National Industrial Conference Board en San Francisco, creo que en 1966, en la que ellos llaman "desayunos metalúrgicos", a los que asisten muchos ejecutivos siderúrgicos del mundo, quienes, junto con otros metalúrgicos, analizan informalmente sus problemas. En estos desayunos, la conversación resultó tan interesante que varios de los siderúrgicos presentes, especialmente Tom Patton, Hans Gunther-Sohl y varios otros, dijeron: Bueno ¿y por qué no organizamos un Instituto internacional del hierro y el acero?

Ese fue el comienzo. La idea se desarrolló y se organizó con mucho cuidado en la forma que los abogados indicaron como la más apropiada, y hubo una reacción muy favorable, sin ninguna excepción. Todos los principales productores de acero comprendieron la necesidad de esto y se unieron de inmediato, de manera que en cosa de algunos meses ya teníamos virtualmente a todos los principales productores de los países de mayor producción de acero del mundo occidental, como miembros del Instituto.

Hay un aspecto que quisiera destacar ahora. Y es que si bien el instituto lo organizaron las grandes empresas, no es ni pretende ser un gran trust siderúrgico privado. Su propósito es representar a toda la industria siderúrgica, grande y pequeña. Es una institución tan democrática como es posible hacerla y desde su fundación, un año atrás, hemos tendido a hacerla aún más democrática al rebajar la cifra de producción que se necesita para ingresar, hasta el punto de que ahora, como lo dije antes, no rige este requisito para los productores de países cuya producción total es inferior a dos millones de toneladas. Todo país que produzca un total de dos millones de toneladas de lingotes de acero puede obtener la calidad de Miembro Regular. Si ninguna empresa produce esa cantidad individualmente, el grupo de empresas puede unirse, como en el caso de Brasil, y solicitar la calidad de lo que llamamos Miembro Delegado. Si el país en conjunto todavía no produce dos millones de toneladas, pueden convertirse en Miembro Asociado, no tienen representación en el directorio, pero pueden participar en las reuniones y recibir los demás beneficios en esta forma.

J. Miller — De la exposición del señor Baker se desprende que el I.I.S.I. se preocupará, principalmente, de problemas económicos y pregunto si también abordará estudios técnicos.

Ch. Baker — Eso es algo difícil de precisar. No tenemos planes para hacer estudios técnicos dentro de la organización. No pensamos tener el personal profesional que permitiría hacer estudios de esa clase. Es muy posible que si nuestros miembros estimaren que hace falta un estudio técnico de determinada naturaleza, contratemos a alguien que disponga de la organización adecuada para hacerlo. Pero en cuanto a efectuar estudios técnicos dentro del marco actual de la organización, no es nuestra intención hacerlo en este momento; en cambio, por el lado económico ocurre lo contrario.

Ch. Urruela — Tengo dos preguntas. En la página 11 de la versión en español del trabajo se dice que a la luz de la situación mundial actual de la siderurgia, construir plantas con el objeto de exportar más allá de las áreas de comercialización naturales equivale a construir sobre arenas movedizas. ¿En qué forma se refiere esto a las industrias siderúrgicas de Japón, Australia y África del Sur? O bien, ¿cómo definiría el área de comercialización natural de una planta siderúrgica de exportación? Esa sería una pregunta.

La segunda pregunta es que si el objetivo básico del IISI es reunir a los principales productores para tratar de hacer algo acerca del desequilibrio que se encuentra en el comercio internacional del acero ¿cómo puede funcionar aquello con la ausencia total de Rusia y de los demás productores de detrás de la cortina de hierro dentro de la organización?

Ch. Baker — Respecto de la primera pregunta, lo que yo quiero decir aquí es que invertir grandes sumas de dinero en instalaciones, con el objeto de exportar sobre una base continua y prolongada, es riesgoso, porque los mercados de exportación tienen la desafortunada costumbre de secarse. Las circunstancias cambian. Ahora bien, construir instalaciones con la idea de que se recurrirá al mercado de exportación hasta el momento en que el mercado interno alcance proporciones que se puedan prever razonablemente, es cosa diferente. Creo que la experiencia europea es el ejemplo más dramático de lo que pasó con las instalaciones que se construyeron principalmente con miras al mercado de exportación y, de pronto, el mercado de exportación desapareció.

Respecto de la segunda pregunta, hasta ahora la producción siderúrgica de Europa del Este no ha desempeñado un papel principal en este desequilibrio actual entre la oferta y la demanda de acero en el comercio internacional. Esto se debe probablemente a las decisiones políticas del grupo oriental acerca de lo que hará con sus productos el día de mañana. Por cierto que el IISI no puede actuar directamente para resolver semejante problema. Por ahora, esto no se ha presentado como un problema crítico.

A. Gómez — La segunda parte de la exposición del señor Baker, es decir, aquella que se refiere a las condiciones actuales del mercado internacional de este producto plantea una opción. Sin duda que las condiciones actuales que han sido tan vigorosamente sintetizadas por el señor Baker, acentuando el hecho de que la capacidad instalada excede a la demanda, tiene una gran influencia en las decisiones que nuestros empresarios y nuestros gobiernos puedan tomar aquí en América Latina. Esta característica unida a las dificultades para financiar las expansiones de su industria, constituyen de hecho un freno a los naturales deseos de aumentar esta capacidad de producción. Sin embargo, por otro lado, existen ciertas condiciones económicas en esta región, que hacen que el proceso de industrialización pueda continuar inexorablemente. Entre estas condiciones deseo destacar: 1º la insuficiencia dramática de nuestra capacidad para importar, como consecuencia de nuestra dramática pobreza; 2º la necesidad de crear ocupaciones para nuestra siempre creciente población; 3º la conveniencia de aumentar y diversificar nuestros ingresos; y 4º la posibilidad de contar con un elevado abastecimiento interno de acero y posibilitar así el desarrollo de las industrias latinoamericanas de transformación. Por ello los gobiernos y los empresarios enfrentan la opción de aprovechar el actual desequilibrio entre la oferta y la demanda de acero en el mundo, o desarrollar la propia capacidad instalada.

E. Michaelis — Tengo dos preguntas para el conferenciante. Primero ¿cómo determinó usted cinco años como plazo necesario para instalar una empresa siderúrgica integrada a partir del estudio de mercado —pasando por el estudio técnico y la decisión de la gerencia— hasta la puesta en marcha? Me parece que cinco años es una cifra demasiado elevada. Segundo, no comparto el parecer del orador en el sentido de que la operación multinacional contribuiría a resolver el problema actual. El objeto de las operaciones multinacionales es aprovechar las condiciones económicas de determinado lugar o área consideradas óptimas, lo que significaría que las exportaciones desde este lugar, en ciertas condiciones de mercado, serían óptimas y tendrían que ser impulsadas. De modo que no comprendo la opinión del orador en el sentido de que la operación multinacional contribuiría a resolver el problema.

Ch. Baker — A la primera pregunta, debo decir que esa cifra de cinco años es una cifra aproximada y no científica, basada en la experiencia. Es digno de aplauso si se puede hacer en menos tiempo, pero en general, al menos en las empresas más grandes, cinco años es el período aproximado que se necesita desde que se toma la decisión de seguir adelante, hasta que se pone en marcha la instalación. Naturalmente que hay excepciones, especialmente si se trata de instalar una sola máquina.

A la segunda pregunta, lo que yo he querido decir es que gran parte de la angustia y la distorsión que existen en la actualidad, especialmente debido al fenómeno de la interpenetración, desaparecería si hubiera un mayor grado de internacionalización de la industria siderúrgica. Por ejemplo, tenemos un productor alemán y uno francés, los dos dispuestos y capaces, que producen y abastecen recíprocamente los territorios respectivos. Si por algún milagro de las circunstancias, esas dos empresas se fusionaran en una sola, ya no tendrían sentido este trabajo de despachos cruzados, cada uno se quedaría en su propio territorio y en consecuencia ganaría más. Si se estudia esa idea se ven los beneficios en cuanto a la interpenetración.

Ch. Urruela — Señor Baker, me parece que usted insinúa que con el fin de mantener un ingreso adecuado sobre el capital invertido en la industria siderúrgica, dados los costos constantes de ciertos factores, la llamada economía de escala llega al punto en que ya no compensa el costo de la distribución que habría que encarar para enviar el acero a mercados fuera del área en que ese acero se produce, esto es, más allá de los límites económicos dentro de los cuales se puede despachar. Pero me parece que eso acarrea consigo una presunción de igualdad de costos. Es posible que ello ocurra en el Mercado Común Europeo, pero no creo que sea lo mismo a nivel mundial, ¿o no?

Ch. Baker — Nó, por supuesto que no es lo mismo. Hay ciertas diferencias de costos, y los que tienen la suerte de gozar de verdaderas ventajas en términos de costo, pueden alcanzar más lejos, en forma razonable y económica, que los que no las tienen.

Ch. Urruela — Si se trata de una región, de un país o de un grupo de países, que tiene: a) un mercado dentro de la región, o b) tiene condiciones competitivas, costos inferiores, sean de mano de obra u otros, entonces no hay razón para que una industria situada en esta región no pueda ser considerada por ese país o grupo de países.

Ch. Baker — A lo que yo me refería aquí era a la planta siderúrgica misma que no tiene ninguna justificación económica ni ventaja económica de ningún tipo, no tiene materias primas, no tiene mercado, no tiene nada, salvo la idea de que sería divertido tener una planta siderúrgica. Y una vez que se construye la planta, qué van a hacer con ella, pues no hay otra salida que el mercado de exportación. Evidentemente está condenada al fracaso desde el comienzo. Desgraciadamente, hay casos así en el mundo.

Ch. Urruela — Entonces, entre países desarrollados y subdesarrollados ¿no estaría la solución en que la industria siderúrgica de los países desarrollados que está sobresaturada, se traslade con sus capitales e invierta en la siderurgia de los países subdesarrollados, para proporcionar empleo y aprovechar las condiciones naturales y los menores costos que existen en esas regiones?

Ch. Baker — Bueno, indudablemente que es una idea que distintas personas están analizando últimamente.

Martínez Vidal — Dejando de lado los problemas de economía de escala y de otra índole, tal vez sería conveniente iniciar en nuestros países el ataque de los problemas de investigación científica y tecnológica. En ciertos países, Brasil entre otros, se está enfocando con agresividad el desarrollo científico y tecnológico, incrementando las investigaciones y la formación profesional y estimo que es una de las alternativas que se presentan en América Latina, en su desarrollo inmediato.

E. Ayala Medina — Los aspectos más salientes de la conferencia del señor Baker son los siguientes: el deterioro de las utilidades de las empresas siderúrgicas debido al alza de los costos; desajuste entre consumo y capacidad de producción, y tendencia consiguiente a la exportación a mercados que no son propios de esas empresas y países. Parecen lógicos los caminos esbozados por el conferenciante para paliar esta situación e incluso el del incremento del esfuerzo en materia de investigación tecnológica expuesto por el señor Martínez Vidal y la aplicación de medidas tendientes a aumentar el consumo de acero. Sin embargo, en cuanto a los países latinoamericanos la situación es distinta y conviene que sea bien definida, pues parecería que el aumento de la producción de acero no constituye para nosotros un objetivo sino que un medio para el desarrollo económico.

Respecto de la Conferencia del Sr. Alberto Sommaruga.

A. Gómez — Agradezco al Dr. Sommaruga la preocupación muy especial que ha tenido en esta sesión técnica y

económica, para abrir algunas posibilidades de trabajo futuro y acción del Instituto Latinoamericano del Hierro y el Acero. El Sr. Sommaruga ha dividido su exposición en tres partes. La primera se refiere a un antiguo problema que ha sido debatido en las reuniones de Directorio de nuestro Instituto y que se refiere a la posibilidad de complementar las industrias siderúrgicas de nuestra región. El Sr. Sommaruga ha reseñado magistralmente la acción que le ha cabido a nuestro principal órgano político, nuestro Directorio, y ha descubierto algunas posibilidades prácticas de cómo aplicar estas recomendaciones que el Directorio se ha permitido hacer, tanto a sus socios como a los gobiernos latinoamericanos y a las autoridades de la ALALC. Les recuerdo a ustedes que la última Recomendación, en este sentido, del Directorio de ILAFA, era la posibilidad de contar con un régimen especial para la industria siderúrgica, que contemplara las características propias de este sector y las posibilidades de que, aumentando el intercambio comercial de acero, no se perjudicara a las expansiones nacionales. Esta posición ha sido acogida favorablemente por el Secretario General de la ALALC, y en una reunión de industriales que hubo en México, a principios de este año, él se refirió, precisamente, a la posibilidad de tener algunos regímenes especiales para las industrias básicas de América Latina. El Dr. Sommaruga ha presentado algunas posibilidades concretas de cómo poder hacer esto, y presenta en forma muy especial, el caso de aquellos productos para los cuales nuestros mercados nacionales son insuficientes. Evidentemente que si la acción de la Secretaría de ILAFA, contando con el apoyo del Banco Interamericano de Desarrollo, le permitiera estudiar los mercados del acero y en forma especial el de estos productos que aún no se fabrican en la zona, estoy seguro que, tal como él lo ha planteado, habría posibilidades de que se desarrollaran algunos proyectos de carácter multinacional. Más adelante el Sr. Sommaruga habló de la posibilidad de tener una acción de asistencia técnica recíproca entre nuestras empresas latinoamericanas, como un medio de favorecer su desarrollo tecnológico, y ha presentado la posibilidad de que se abra un registro de técnicos y, evidentemente, que al abrir este registro se podría consultar la posibilidad de que ellos pudieran desarrollar una labor de asistencia técnica en otras plantas de su mismo país o de países diferentes. Y tercero, ha abierto otra posibilidad de colaboración multinacional dentro de ILAFA, y es la de laborar juntos dentro de un programa de investigaciones tecnológicas que pueda favorecer la creación de productos y de procesos propios dentro de América Latina, que se pudieran ajustar mejor a las condiciones económicas y técnicas de nuestra región. Ofrezco la palabra sobre estas diferentes posibilidades de acción dentro de ILAFA, que ha presentado el Dr. Sommaruga.

P. Guttmann — Habló como miembro de la directiva de Engineering Control de los Estados Unidos, y en tal carácter, respecto al asunto de la consultoría independiente, pongo a la orden de ILAFA nuestra organización. Ella tiene por objeto prestar servicios de consultoría independiente a gremios como éste. En los últimos meses hemos tenido el gusto de conectarnos más íntimamente con la Secretaría General de ILAFA. Ya están en su poder las listas de nuestros miembros y nuestras especialidades. Quisiera simplemente llamar la atención a la honorable asistencia, que en EE. UU. estamos dispuestos hasta donde se puede, a estrecharnos la mano y traer nuestros conocimientos especializados hacia acá, para resolver los múltiples problemas, técnicos y específicos, que enfrenta esta industria.

E. Abril — Me ha parecido muy interesante la sugerencia de que ILAFA pudiera centralizar un registro sobre técnicos que pudieran asesorar a la industria y creo que sería interesante unir dos ideas, esto es, la del registro de técnicos de las industrias, con el registro de técnicos de institutos dedicados a la investigación tecnológica y científica en Latinoamérica. Lo que sugiero es que si se preparan estas listas, se incluya también a las instituciones que sin ser industriales, se dedican a la investigación tecnológica en el

campo metalúrgico, a fin de que las empresas de Latinoamérica conozcan las instituciones con que puedan contar para realizar tareas de investigación.

Ch. Urruela — Yo quisiera diferir un poco de la idea de la integración con respecto a la industria siderúrgica latinoamericana. La idea de integración "per se", en base regional, creo que es todavía muy debatible. En el caso específico de nuestra industria, ya lo hemos discutido bastante y sabemos que hay ciertos factores, nacionalismos, dificultades, falta de sub-estructura, falta de recursos técnicos y falta de recursos financieros, que dificultan la idea de una integración en base regional. Todavía en base subregional, dentro de nuestra región, se empiezan a dar y tal vez es válido dar, ciertos pasos. Pero se me representa que en nuestra industria específica, y no hablo de otras, corremos el riesgo de seguir adoptando antecedentes de desarrollo siderúrgico internacional y de tecnología que no nos son útiles. A muchas de estas empresas avanzadas hoy en día, posiblemente les está pasando lo del dinosaurio, cuyo cuerpo ha crecido demasiado para la cabeza que lo dirige y se encuentra en problemas. Creo que es muy significativo el hecho de que los progresos revolucionarios que se han hecho en la siderurgia en el mundo, en los últimos veinte años, han surgido uno en México y dos en Austria, que no se pueden llamar países de grandes mercados, países de grandes concentraciones de capital, y países que se consideraba eran fuente de tecnologías siderúrgicas. Creo que hemos heredado en Latinoamérica los elefantes blancos creados por los constructores de equipos al servicio de los grandes capitales y de los grandes mercados cuyas soluciones se dirigían a otros problemas técnicos y a otros problemas industriales que no son los nuestros. Yo no acepto la tesis que para ser eficientes y producir a bajo costo, se necesita una siderúrgica integrada que produce 1 millón, 2 millones, 3 millones o 10 millones de toneladas. Creo que eso es un absurdo. Creo que eso es poner la inteligencia del hombre al servicio de las máquinas, porque si se puede diseñar una planta suficiente para 1 millón de toneladas, no veo absolutamente por qué no se puede diseñar una igualmente eficiente para 100 mil toneladas. Sé por qué no se ha hecho. Obviamente los consultores que nos ofrecen sus servicios, han logrado su experiencia sirviendo a las grandes concentraciones de capital, que se tecnificaron en los últimos 50 años, cuando empezaron a enfrentar un problema, que era el problema de la aspiración del obrero sindicalizado que aumentaba los costos de la mano de obra y que se veían impulsados a crear entidades industriales y maquinarias cada vez más eficientes en un solo sentido, eficientes en el sentido de sustituir al hombre. No creo que sea ese nuestro problema en Latinoamérica. Si pensamos que estamos, como creo, al umbral de una revolución tecnológica de la industria del acero como tal, su subfragmentación mediante el paso directo de pélets en hornos eléctricos de aceria, es decir sin altos hornos, sin coquería, sin carbón, a la colada continua, y si consideramos la posibilidad de conseguir pronto laminadores pequeños, versátiles y eficientes, que es lo único que falta para tener plantas pequeñas bastante económicas, especialmente tomando en cuenta la falta de subestructura que tenemos, podemos concluir que estamos muy cerca de poder resolver muchos de nuestros problemas, sin caer en errores que nos llevan a la necesidad de una concentración de capitales, donde la integración viene a ser la consecuencia de este mismo problema, pero es una consecuencia totalmente innecesaria; de lograrla, no contribuiría a resolver los problemas sociales y económicos de la región, como la gente cree, porque van a absorber recursos de capital tan ingentes, que entonces no vamos a poder atender las otras necesidades de nuestros pueblos y crear las industrias secundarias, donde la inversión por puesto de trabajo es mucho menor. Además, si seguimos en este camino, que tal vez es inevitable, aunque yo creo que sí lo es, esa misma concentración de capitales nos lleva a una de dos cosas: nos lleva a una nacionalización o socialización de la industria, en plan nacional en primer término, y en plan internacional en segundo tér-

mino, lo que debemos evitar, o nos lleva a pasar el control de nuestras industrias básicas en este y en otros campos, de los países subdesarrollados, a manos de aquellos que tienen las grandes concentraciones de capital.

Ayala Medina — Esta conferencia se refirió a un problema sumamente complejo; las propias palabras del Sr. Urruela lo comprueban. Esto nos debe dejar una serie de inquietudes acerca de las cuales debemos de pensar muy seriamente. Será uno el camino, será el otro, pero en cualquier caso tenemos que pensar en ello.

Respecto de la Conferencia del Prof. Sven Eketorp.

F. Aguirre — Creo que hemos asistido esta mañana a una interesantísima exposición, que nos ha traído a la reflexión científica, más que los otros tipos de debates que hemos tenido normalmente en estos congresos. La exposición del profesor Eketorp que despierta un interés muy especial, porque después de exponer los principios fundamentales aplicables al proceso metalúrgico de la fabricación de acero, refiriéndose en un principio a la termodinámica y la cinética, termina concluyendo que para perfeccionar la fabricación y obtener el tipo de acero que deseamos, requerimos ir fraccionando y simplificando las operaciones, de modo que en cada una de ellas tengamos la posibilidad de medir exactamente los resultados y la forma como se va desarrollando el proceso, incluso su velocidad. Aún más, no termina exponiéndonos solamente esta tesis y esta teoría, sino que se atreve a avanzar todo un proceso revolucionario en el sistema de fabricación con un esquema perfectamente concreto y claramente expuesto. Creo que este planteo es atrayente, y al mismo tiempo invita a hacer una serie de preguntas al profesor Eketorp. Creo que entre otras estaría la de saber si dentro de todo ese sistema, de ese análisis, hay también alguna base de tipo análisis económico, de costo de esos procesos, con que él pudiera tal vez ampliar su información. Le dejo planteado el problema y también a ustedes la posibilidad de plantear vuestras inquietudes o pedir aclaraciones.

S. Eketorp — Es demasiado pronto, por cierto, para hablar del aspecto económico. Ni siquiera es ese mi trabajo. Pero, como metalúrgico, siempre tengo que pensar en la economía; de otro modo no tendría sentido hablar de metalurgia. Tomemos un ejemplo: ustedes saben que dividir la aceración en horno eléctrico, y cualquier tipo de aceración, en las dos etapas a que me he referido, resulta económico. Se obtiene una mejor economía en la acería misma, por no hablar de los laminadores, pues allí también se puede ganar lo suficiente para justificar la implantación de una operación dividida, como ésta. Hay una productividad mucho mayor en el horno eléctrico mismo, y un acero mucho más exacto. Cuando se sabe que se puede indicar una precisión de 0,01% de manganeso, o silicio o níquel, o cualquier cosa, se está muy seguro de los resultados, y se puede uno poner en el límite más bajo del rango especificado para la composición. Si la temperatura está correcta, se pueden obtener resultados mucho mejores en el vaciado, y se puede investigar el vaciado, cosa que no se podía hacer antes. Este sistema de cuchara, en mi país (que es un país pequeño productor de acero), se aplica a todos los métodos de aceración: Siemens-Martin, Kaldor, LD y horno eléctrico de arco. No quiero mencionar el nombre de la firma, porque eso no interesa gran cosa; lo que interesa es que se tienen los medios para mezclar, para realizar el control de la temperatura y para el vacío que se necesite: este último es el aspecto menos importante.

En cuanto a la producción de arrabio, la economía de este aspecto no la conocemos. Lo ocupamos, desde luego, porque nos parece que es más barato. Esa es la única razón. Y es más barato quizás por el menor consumo de agentes reductores, pero sobre todo, por el menor costo de capital, que en mi opinión es demasiado elevado en nuestra industria siderúrgica moderna. En la colada continua, tal vez lo más importante sería reducir el costo de capital. Es-

pero que el señor Astier del IRSID esté de acuerdo conmigo en este punto. Hay muchas otras ventajas que se pueden aprovechar, pero ésta es quizás la más importante.

E. Abril — El profesor ha mencionado que en la eliminación de azufre el potencial de oxígeno debe ser bajo. Tengo entendido que para la eliminación de fósforo, el potencial de oxígeno, o por lo menos el contenido de oxígeno de la escoria debe ser alto. Quisiera una aclaración respecto de los procedimientos normales de eliminación de fósforo y azufre en los hornos eléctricos y en los hornos LD. ¿Cómo se logra eliminar simultáneamente el azufre y el fósforo cuando aparentemente habría dos condiciones contradictorias: el potencial de oxígeno debería ser en un caso elevado y en el otro caso bajo? Entiendo que por potencial de oxígeno el profesor Eketorp se refiere a la presión parcial de oxígeno en la fase gaseosa, y posiblemente la explicación esté, en el caso del fósforo, en que se busca que tenga elevado oxígeno en la escoria, o sea que la reducción en un caso sería escoria-metal y en otro caso sería fase gaseosa-metal; me agradecería una explicación de parte del profesor sobre este tema.

S. Eketorp — Sí, tiene usted toda la razón. Para eliminar el azufre se necesita un potencial de oxígeno bajo, para eliminar el fósforo se necesita un potencial de oxígeno muy alto. ¿Cómo se les puede combinar? En principio, no es posible combinarlos. El ejemplo señala que en estos procedimientos el fósforo no quedó reducido en el arrabio. Entonces viene el azufre, y en el procedimiento DORED, si ustedes han oído hablar alguna vez de este sistema de fabricar arrabio (1), se pueden modificar las condiciones de tal modo que hay que decidir: o se deja el fósforo y el azufre se mantiene bajo, o se tiene azufre elevado y bajo fósforo. Pero en el LD las condiciones, en principio, se oponen a la desulfuración y favorecen la defosforación. Se produce cierto grado de desulfuración debido a dos factores: uno es el volumen relativamente grande de escoria; esto significa que si se tiene arrabio de alto fósforo se consigue una desulfuración aún mejor. En el procedimiento Kaldor o en el LD-AC se obtiene una desulfuración de alrededor del 80%, en el LD se tiene algo así como un 50%, debido al gran volumen de escoria cálcica. Cierta grado de desulfuración se produce también debido a las condiciones oxidantes. Hay tanta oxidación que se forma no un sulfuro sino SO_2 . Y estos dos mecanismos provocan la eliminación de cierta cantidad de azufre. Pero, como lo indica el diagrama, es casi imposible obtener un bajo nivel de azufre.

J. Astier — Mi primera pregunta es más bien un comentario acerca del papel fundamental de la aceración y pienso que este análisis es muy importante y muy bueno, pero creo que Sven Eketorp estará de acuerdo en que hay otra ciencia que tiene importancia para el futuro de los métodos de aceración, esto es todos los nuevos adelantos en electrónica y automatización, y por cierto que todos estos nuevos procedimientos continuos serían virtualmente imposibles sin un sistema muy moderno para reunir los datos, analizarlos con computadores y tomar las medidas necesarias. Eso es, desde luego, lo que hemos estado haciendo con el nuevo procedimiento de aceración en continuo de IRSID (2).

Mi segundo comentario se refiere a las dos vías posibles para pasar del mineral al acero, excluyendo el alto horno. Sven Eketorp dió una descripción interesante de un procedimiento que se realiza en varias etapas. Estoy enteramente

S. Eketorp — Gracias, M. Astier. En cuanto a los computadores, quisiera manifestar que estoy de acuerdo con él, pero que no me parece que tengamos los métodos su-

- (1) Este procedimiento fue expuesto en el V Congreso Latinoamericano de Siderurgia: U. Kalling y D. L. Campbell "El procedimiento DORED de fabricación de arrabio".
- (2) Expuesto en el VI Congreso Latinoamericano de Siderurgia: P. Vayssiére, J. M. Kindelan y B. Trentini, "El procedimiento IRSID de afino continuo del arrabio".

de acuerdo con esta posibilidad, pero quisiera conocer su opinión sobre la vía alternativa con reducción al estado sólido seguida por sistemas de afino que por cierto podrían ser de fusión continua, carga continua, vaciado continuo. eficientemente perfeccionados todavía para el uso de computador. Tenemos que encontrar sistemas mejores, mucho más sencillos, para que podamos dirigirlos con computador. Es posible, por cierto, aplicarlo a un procedimiento discontinuo, pero ése no es el tipo de procedimiento que debe ser controlado por computador. La vía alternativa indicada por el señor Astier es posible, pero no estoy seguro que sea la más económica, pero sí de que está mal trabajar con el potencial de oxígeno del alto horno.

R. Jennings — Yo quiero hacer solamente una pregunta relacionada con este diagrama tan elegante del profesor Eketorp. ¿Por qué no lo simplificamos desulfurando el concentrado, gas o petróleo, antes de que entre al sistema?

S. Eketorp — Si se pudiera hacer eso más económicamente, por supuesto que debiera hacerse así. Es difícil desulfurar: el concentrado normalmente tiene poco azufre, no hay dificultad, pero hay azufre en el petróleo, el gas o el coque, más bien dicho el carbón. ¿Puede Ud. eliminar el azufre en forma más económica antes de producir el arrabio? Si es así yo lo apoyo totalmente.

J. Astier — Creo que no hay gran problema en la desgasificación. Hoy en día resulta muy económico desulfurar el gas. El problema principal, por cierto, está en el carbón y en parte en el petróleo.

J. Miller — Quisiera saber si se ha pensado algo acerca de las magnitudes prácticas del rendimiento. Me parece que hace treinta años, ya hablábamos de procedimientos continuos y de continuidad; nos hemos acercado algo más ahora, porque los elementos de tiempo se han reducido y nos hemos aproximado al concepto de continuidad. Pero tenemos un problema de magnitudes. En 1980, me parece, nos encontraremos con mil millones de toneladas al año de acero; esto significa quizás dos mil millones de toneladas al año de mineral de hierro, y algún valor intermedio para lo demás que colocamos por el lado de los insumos. La pregunta es: ¿podemos pensar en esta clase de concepto de continuidad? ¿En cantidades pequeñas, en cuyo caso se puede dar el paso en un nivel, si ustedes quieren, académico? ¿O tenemos que concebirlo en términos de cantidades enormes, en cuyo caso tenemos que pensar en la economía antes que en la técnica? Me parece que en este último caso no podemos hablar del procedimiento en sí mismo, sin pensar en la magnitud de la operación, que incluye el total de los insumos y la distribución de los productos.

S. Eketorp — Refiero la pregunta al señor Astier.

J. Astier — Por lo menos debo decir algo acerca de lo que estamos haciendo en aceración continua. Es un punto que estamos iniciando justamente esta semana: lo que llamamos nuestra planta piloto, y, a propósito, esta planta piloto es de treinta toneladas por hora, y posiblemente algo más, de modo que habrá mil toneladas de acero al día. De modo que para nosotros significa que tenemos la impresión de que podemos construir verdaderas plantas comerciales en gran escala que usen un proceso continuo. Y en cierto modo, el costo del equipo metalúrgico de semejante planta no sería diferente del de una acería al oxígeno normal. Pero esperamos, y creo que el Sr. Eketorp estará de acuerdo, que tendremos un gran ahorro. ¿Por qué? Porque estamos ahorrando el gran costo de la planta que no es el del equipo metalúrgico sino el del transporte, distribución y todos los equipos que son tan complicados porque estamos trabajando con partidas de material, es decir en forma discontinua. En este procedimiento nuevo de aceración continua, esperamos, por ejemplo, no tener un puente-grúa sino simplemente alimentar una cuchara en un extremo y luego se tiene un flujo continuo de líquido; por cierto que se puede ahorrar mucho en esa forma.

S. Eketorp — Estoy enteramente de acuerdo con el señor Astier. Ustedes saben que en el alto horno, para tomar este ejemplo, la cuba misma representa 10-15% del costo total. ¿Qué representa el LD? Otro 15% del costo total; me refiero al convertidor mismo. No tengo cifras precisas, pero así parece si uno va a una planta siderúrgica moderna. Uno ve, si mira alrededor, el horno de aceración propiamente tal, pero esa no es una parte muy importante de la planta.

Respecto de la Conferencia del Prof. Jorge Sábato, expuesta por el Dr. Carlos Martínez Vidal.

E. Gana — Es bastante difícil resumir la impresionante cantidad de ideas que hay en este documento, y sólo voy a tratar de precisar algunas de las ideas contempladas en él. La primera y tal vez la más importante es la que se refiere a la necesidad de que cada país tenga su propia infraestructura tecnológica y eso, de hecho constituye un desafío y una responsabilidad ineludible. La segunda idea que se plantea, es que la creación científica depende en gran medida del individuo mismo, es decir, no se puede pensar que la existencia de los laboratorios y medios materiales, por sí solos, bastan para desarrollar una investigación adecuada y de alto nivel. Otra consideración establecida en este documento, es que la dinámica de la investigación permite entrar de hecho en este proceso en cualquier momento. Se hace resaltar, con bastante énfasis, la diferencia entre investigación científica e innovación, atribuyéndole a este último concepto una importancia vital, porque es la expresión del cambio en los procesos productivos, y constituye en consecuencia, una gran meta, una gran posibilidad, para países como los nuestros, donde pueden colocar tecnologías, pueden colocar procesos, que no requieran, como decía anteriormente, una infraestructura inicial muy grande, o bien de equipamientos demasiado considerables. La segunda parte del trabajo está referida a la metalurgia de hoy, y en esto se presenta el sector metalúrgico como uno de los sectores donde, en forma más propicia, se pueden recoger las ideas planteadas en la primera parte de la exposición. respecto a la innovación, respecto a la necesidad de tener un desarrollo propio. Finalmente, en esta parte, se propone una estrategia de extraordinario interés, en cuanto a que se señalan los puntos más importantes sobre los cuales habría que actuar, para poder conseguir los resultados que se desean. En último término, se plantea una respuesta a una larga controversia respecto a si hay que hacer investigaciones básicas, investigación teórica, o bien investigación aplicada. La respuesta del Dr. Sábato es concluyente. Este dilema no existe, existe solamente, según él lo indica, investigación buena o mala. Esto es, en líneas muy generales, el texto que ha presentado el Dr. Sábato y que ha leído el Ing. Martínez Vidal. Yo quisiera precisar una inquietud personal en relación a este tema. En la primera parte de la exposición se justifica, con bastante claridad, la necesidad de que cada uno de los países tenga su propia infraestructura tecnológica y haga todos los esfuerzos por desarrollarla. Mi pregunta de hecho y mi inquietud, es cómo conciliamos este hecho, la necesidad de que todos los países tengan estos centros, tengan estas infraestructuras específicas con las investigaciones de carácter internacional, que se están realizando o que se pretendan realizar en medios determinados inclusive, por ejemplo, en el caso de América Latina. Qué conexión, qué medios de difusión pueden existir entre estos centros nacionales y los centros internacionales.

Si alguno de los señores delegados desea plantear de inmediato alguna pregunta, tiene la palabra.

C. Martínez Vidal — Personalmente creo que no hay ninguna contradicción en la necesidad de un desarrollo de una infraestructura, propia en cada país, y diría mucho más todavía que propia en cada país, de una infraestructura propia en cada polo, de actividad industrial. Esta infraestructura técnico-científica de apoyo debe cumplir una cantidad de funciones sumamente importantes. Desde el servicio de un asesoramiento continuo a la industria, a grupos

industriales concentrados en este sector, hasta la enunciación de un programa ya un poco más exigente y un poco más ambicioso al cual hace referencia el Dr. Sábato en su trabajo. Evidentemente, para lograr estos centros, estas infraestructuras regionales o locales, es necesario un gran trabajo previo, y este gran trabajo previo en principio ya está siendo esbozado a través, no de centros internacionales, sino más bien de programas internacionales. Cuando se planteó la opción a partir de la Declaración de Punta del Este de los Presidentes, en el cual la Organización de Estados Americanos propuso la creación de grandes centros multinacionales, hubo bastantes objeciones, pues mucha gente consideraba que estos grandes centros multinacionales, iban a tener una característica centrípeta, de absorción del poco personal capacitado existente en América Latina. De ahí entonces surgió la idea de los grandes programas multinacionales, con la base de que estos programas multinacionales tendrían una característica centrífuga, posibilidad de capacitación de gente, de llevar adelante, en el sitio que fuese más apropiado en cada instante, en cada momento, ciertas líneas de investigación de intereses comunes en el área y, fundamentalmente, del retorno de los investigadores a sus países de origen, a sus centros de origen, para continuar en esta tarea allí y ser ellos entonces los semilleros para la formación de esa infraestructura técnico-científica necesaria para el grupo.

E. Abril — Me parece muy atinada la clasificación que hace el Dr. Sábato en su investigación buena o mala, desechando las controversias sobre los nombres con que normalmente se clasifican los distintos tipos de investigación. Creo, sin embargo, que algunas clasificaciones son necesarias dentro de la buena investigación, para los fines de discutir qué es lo que más conviene en nuestros países en materia de investigación y en qué sentido deberán invertirse los mayores recursos; creo que podríamos hablar de investigación original, investigación de adaptación y perfeccionamiento de métodos industriales, investigación interpretativa de fenómenos vinculados a los problemas industriales, e investigación de otros tipos, relacionados principalmente con el aprendizaje de técnicas de investigación. Como investigación original interpreto la enunciación de nuevas teorías y su verificación experimental. La investigación de adaptación se vincula fundamentalmente con lo que muy acertadamente el Prof. Sábato llama innovación, y por último, las dos clasificaciones finales están muy relacionadas, y su fin principal es mantener entrenados a los investigadores. Creo que entre nosotros, debe darse preferencia por igual a la investigación de apoyo a la innovación y a la investigación realmente original. Esta última sobre la base de una real originalidad y convenientemente estimulada, puede dar lugar a los resultados espectaculares previstos por el Prof. Sábato y permitir la retención en nuestros países de los cerebros más brillantes y aún repatriar a algunos. La necesidad de desarrollar tareas de otro tipo para preparar y mantener entrenados a nuestros investigadores, debería ser satisfecha preferentemente sobre la base de trabajos relacionados con la interpretación de aspectos vinculados a problemas industriales. Se posibilitaría así un mejor aprovechamiento de los trabajos de entrenamiento, en lugar de estar realizando experimentos vinculados a trabajos ajenos, de finalidad alejada con los problemas nuestros y respecto a los cuales sólo se practiquen ligeros cambios de técnicas o de mate-

riales. Con este último tipo de trabajo, se corre el riesgo de burocratizar la investigación y crear personal caro, con gran habilidad manual, pero sin aporte alguno a la solución del problema real. La vinculación de los institutos de investigación con la industria, como acertadamente lo indicó el Profesor Sábato, contribuirá sin duda, a proponer los temas de investigación para entrenamiento. Querría saber si el Ing. Martínez Vidal comparte lo expresado por mí sobre este aspecto, o si tiene alguna otra idea respecto a las prioridades que deben darse al desarrollo de la investigación.

C. Martínez Vidal — Discrepo parcialmente, pues creo que hay un problema importante, que es previo al estudio o al pretender trazar la estrategia con respecto al esfuerzo que debe dedicarse a diferentes tipos de investigación; este consiste en que en nuestros países latinoamericanos no tenemos tradición, no tenemos montada esta infraestructura técnico-científica, ese ambiente podríamos llamarlo, fundamental, para poder desarrollar la investigación. Eso hace entonces, que antes que fijar prioridades a la investigación, tenga prioridad cero el desarrollo de ese ambiente, con dos objetivos, en primer lugar, crear una cierta atmósfera, que posibilite la investigación, que posibilite la adaptación del investigador a la sociedad, y en segundo lugar, crear conciencia en la sociedad de la necesidad de la investigación. Y eso, insisto, se va a conseguir únicamente en la medida en la cual la investigación sea buena, así sea esa investigación en espacios topológicos, así sea del espacio de Riemann, así sea en medicina, o precisamente, en problemas estrictamente metalúrgicos. De ahí que creo que el procurar discriminar y fijar un cierto orden de prioridades, es una segunda etapa, cuando la primera se ha cumplido, cuando hay conciencia en la sociedad de la necesidad de la investigación y entonces esa sociedad sí podrá, adecuadamente, encauzar sus recursos hacia la investigación, hacia uno u otro campo. Lo otro, creo que fundamentalmente va a ser un juego de oferta y demanda, en el cual la propia investigación va a tender a solucionar ciertos problemas y a auto-fijarse ciertas prioridades. En definitiva, considero que eso es una segunda etapa, pero que incluso en la primera, va a aparecer una autoselección respecto a los temas y a las necesidades. O sea, cuando analizamos cuáles son las fuentes de recursos para investigación, observamos que en primer lugar, en todas partes del mundo, el más fuerte inversor en investigación es siempre el gobierno. La contribución de las empresas privadas a la investigación, es mínima. Naturalmente en América Latina, no tenemos que descontar de ninguna manera los organismos internacionales, llámese Ford Foundation, llámese OEA, etc. Esto sólo, creo que va creando un libre juego del cual van surgiendo un poco las prioridades con respecto a las investigaciones. O sea, hay una realimentación permanente de necesidades sobre la investigación, hay una presión permanente de las actividades sobre la investigación, por lo cual pretender fijar anticipadamente prioridades en temas específicos, puede conducirnos a invertir una gran cantidad de dinero en campos en los cuales no tenemos gente suficientemente capacitada y caemos en los problemas de hombres mediocres, ideas mediocres, al cual se refería el Prof. Sábato. Entonces, tenemos que alentar lo que llamamos la investigación buena, donde tenemos gente buena; lo otro va a ir surgiendo como consecuencia natural.

Sesión técnica - Tema 1

El acero para la construcción civil y mecánica

Comentario introductorio

La sesión en que se presentaron los trabajos solicitados por ILAFA sobre este tema se verificó el Martes 17 de Septiembre, a partir de las 9 horas, actuando de Presidente de Sesión el señor José A. Martínez de Hoz, de Acindar, Argentina y como Presidente de Debates el Ing. Eduardo Dibós, Director Gerente de Electrometalúrgica Nacional S. A. "ENSA" y de Aceros Peruanos S. A. "APESA", Perú.

El primer trabajo presentado fué el del Dr. Ing. Helmuth Odenhausen, Director del Centro Alemán de Información del Acero, sobre "El acero en la ingeniería; progresos y problemas". En ausencia del autor, el documento fue presentado por el Dr. Ing. Karl Heinz Treptow, Subdirector del Verein Deutscher Eisenhüttenleute (VDEh).

El Dr. Ing. Helmuth Odenhausen cursó estudios de Ingeniería Mecánica en la Escuela Técnica Superior de Aquisgrán, recibiendo su título en 1943. Terminado sus estudios profesionales se desempeñó como profesor ayudante en dicha Escuela Técnica, hasta recibir el doctorado con una tesis sobre máquinas de tracción para ferrocarriles, en 1948.

En 1955 fue designado Director del Centro Alemán de Información del Acero, habiendo actuado antes como Ejecutivo en diversas empresas siderúrgicas y de la minería del carbón.

El trabajo del Dr. Odenhausen desarrolla el tema en sus aspectos históricos, económicos y técnicos. Un aspecto particularmente interesante lo constituyen las consideraciones que hace el autor respecto a los factores o, mejor dicho, respecto a las grandes leyes que regulan la proporción de acero que se emplea en forma de hormigón armado, hormigón pretensado y en la de acero propiamente tal. También abarca el documento el problema de la seguridad contra el fuego, para entrar después a considerar los aceros estructurales de alta resistencia.

Buena parte del trabajo del Dr. Odenhausen se refiere a los elementos de construcción de acero, es decir a la forma en que se utiliza el material: perfiles, planchas, etc. y a los diversos sistemas de protección del acero, como ser el cincado, el recubrimiento con material plástico y otros. Desde este punto de vista, trata también en general la aplicación de los aceros de alta resistencia y baja aleación, los que son denominados también resistentes a la acción atmosférica.

Se trata pues de un documento en que se da una visión de conjunto sobre el tema y su texto completo se da más adelante en el presente informe.

A continuación el señor R. S. Burns, Director de Investigaciones Metalúrgicas, Investigación y Tecnología de la Armco Steel Corporation, presentó su trabajo intitulado "Los aceros de alta resistencia". El trabajo del señor Burns analiza pues, más en profundidad un aspecto particular ya mencionado en sus grandes líneas por el Dr. Odenhausen, esto es, los aceros de alta resistencia y baja aleación.

El señor R. S. Burns es Director de Investigación Metalúrgica del Centro de Investigaciones de Armco Steel Corporation en Middletown, Ohio. Estudió en la Universidad del Estado de Ohio donde se graduó en 1930 y recibió el título de Bachelor of Arts Degree. En 1933 fue agraciado con la medalla anual del American Iron and Steel Institute por su trabajo "El envejecimiento de las chapas finas de acero blando". En 1962 recibió el premio Regional del mismo Instituto por su trabajo intitulado "Limitación de diámetro de rollos para prevenir la formación de quebraduras en la banda" (Coil breaks). Además, ha publicado varios trabajos sobre tecnología de obtención del acero y lamina-

ción, incluyendo aspectos relacionados directamente con las prácticas de fabricación. El señor Burns es miembro del American Iron and Steel Institute, Society of Automotive Engineers, American Ceramic Society, Association of Iron and Steel Engineers y otras organizaciones profesionales.

El trabajo del señor Burns divide el tema en dos secciones, los aceros de alta resistencia y baja aleación, laminados en caliente, con un límite aparente de elasticidad entre 29 y 45 kg/mm² y los aceros al carbono y de baja aleación sometidos a tratamiento térmico, con un límite aparente de elasticidad de hasta 70 kg/mm². Nótese de paso que dicho tratamiento térmico abarca principalmente las operaciones de temple y revenido, operaciones no aplicadas antes a los productos siderúrgicos planos de producción masiva. Se ve pues que el progreso ha incorporado a la construcción metálica, operaciones aplicadas antes a los aceros para la construcción mecánica, entendiéndose por tal los utilizados en fabricación de partes y piezas de maquinarias, automóviles, etc.

El autor trata diversos aspectos relacionados con las ventajas y limitaciones de estos aceros, desde los puntos de vista de soldabilidad, resistencia a la corrosión atmosférica, resistencia a la fractura frágil y otros. El documento termina considerando los futuros aceros de alta resistencia caracterizados por un límite aparente de elasticidad de 87 a 105 kg/mm² e indica los diversos caminos que se siguen para su desarrollo. Digamos, por último, que el trabajo del señor Burns, dadas las proyecciones del tema, interesa por igual a productores y usuarios de aceros para la construcción metálica.

En el debate de este trabajo participaron los señores S. L. Gertsman del Dpto. de Energía y Minas del Gobierno del Canadá, Rafael Díaz Casanova, de Siderúrgica Venezolana, SIVENSA, Venezuela y Alfredo Schacht de la Cía. de Acero del Pacífico, CAP, Chile. Reproducimos el texto del debate, más adelante.

La sesión de trabajo prosiguió con lo que constituyó una segunda parte, pues los dos trabajos anteriores se relacionaron con los aceros para las construcciones civiles (construcción metálica o aplicación estructural). En esta segunda parte se presentaron dos trabajos sobre las aplicaciones del acero para la construcción mecánica.

El primero de ellos lo presentó el Ing. Eduardo R. Abril y corresponde al trabajo intitulado "El acero para la industria mecánica" es decir el acero para la fabricación de maquinaria en general.

El Ingeniero Eduardo R. Abril es Ingeniero Mecánico Electricista de la Universidad Nacional de Córdoba y Master of Science en Ingeniería Mecánica del Massachusetts Institute of Technology. Su especialidad es la Ingeniería de Materiales.

Sus publicaciones técnicas abarcan diversos campos, destacándose los relacionados con la interpretación teórica de la rotura de los metales y el estudio de los mecanismos involucrados en la deformación plástica de procesos tecnológicos. También ha publicado trabajos sobre fundición gris, termodinámica metalúrgica, difracción de los rayos X, materiales no metálicos, etc.

Es autor del libro de texto "Metalurgia Técnica y Fundición" y tiene en preparación una obra sobre "Materiales y Ensayos" actualmente editada en forma de apuntes por la Escuela Superior de Aerotécnica.

Sus actividades son: Director técnico del Centro de Investigaciones Metalúrgicas (CIM); Jefe del Departamento de Materiales y Tecnología en la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba.

El señor H. A. Halupka, Ingeniero Metalúrgico, se incorporó a la Marcona Mining Company en 1964. Llegó del Canadá en donde trabajó para la Iron Ore Company y las Minas Hilto, siendo su posición actual, Superintendente General-Beneficio. Antes estuvo vinculado con Plantas de Beneficio no-ferrosas en el Sur-Oeste del África y anteriormente, conectado con la enseñanza de Metalurgia y Física.

El señor Luis F. Morán obtuvo su título de Ingeniero Químico en la Universidad Mayor de San Marcos, Lima-Perú. Trabajó por espacio de 10 años en el Banco Minero del Perú en el Programa de Desarrollo y Comercialización de Antracita, Cuenca del Río Santa, Chimbote, Perú. Desde hace 8 años trabaja para Marcona Mining Company en Concentración y Aglomeración de Mineral de Hierro. Actualmente está a cargo de la Producción de Pelets, en calidad de Superintendente de Peletización.

El documento describe la evolución de las prácticas de operación de la factoría de Marcona en San Nicolás, destacando sus singularidades y da a conocer el esquema de control de calidad, en función de las diferentes etapas tecnológicas, del tipo de prueba que se aplica y de su frecuencia. Los autores atribuyen la mayor importancia al control de calidad.

Este documento fué expuesto por el Ingeniero Morán y provocó un debate cuya síntesis aparece más adelante y en el cual participaron los señores Bruno Leuschner de la Comisión Económica para América Latina (Naciones Unidas) CEPAL; Melvin C. Chang, de Dravo Corporation, EE. UU.; J. Cárdenas; Luis Remy Valdivieso, de Marcona Mining Co., Perú y Adolfo Bragard, del CNRM de Bélgica.

La sesión prosiguió con el documento del Dr. Melvin C. Chang, intitolado "Unión de partículas de óxido de hierro en pelets ácidos".

El Ingeniero Melvin C. Chang nació en Indonesia e hizo sus estudios profesionales en las Filipinas y en Estados Unidos, Universidades de las Filipinas y de Arizona, respectivamente, y después en el Instituto de Tecnología de Massachusetts hasta obtener el título de Doctor en Ingeniería de Minas en Junio de 1951.

Durante cuatro años estuvo destacado por la Armour Research Foundation, en el Instituto Tecnológico de Massachusetts, y también actuó en el mismo período, como investigador en la estación experimental de minería de la Universidad de Minnesota, donde efectuó estudios diversos sobre problemas relacionados con el mineral de hierro. A fines de 1954 fue contratado como Jefe de Sección del Departamento de Metales de la Chemical Construction Corporation en Linden, Nueva Jersey, a cargo de investigación de procesos y desarrollo en el campo de la metalurgia extractiva y química.

A fines de 1955 fue nombrado Supervisor de Investigaciones Tecnológicas y encargado de la sección Ingeniería Química y Proceso de Minerales de la Crucible Steel Co. of America. Posteriormente y a partir de principios de 1961 hasta fines de 1965 ocupó el cargo de Jefe de Investigaciones Tecnológicas de la Jeonstown Sheet and Tube Co.

donde abordó numerosos estudios sobre Materias Primas y Reducción de minerales de hierro. Desde Octubre de 1965 y hasta la fecha dirige las actividades de investigación y desarrollo de Dravo Corporation sobre beneficio de minerales, incluyendo la aglomeración y procedimientos químicos y metalúrgicos.

El Dr. Chang analiza en su trabajo el comportamiento característico de los distintos tipos de mineral o concentrados, en cuanto al mecanismo de la aglomeración. La clasificación de los minerales de hierro que adopta el autor comporta cuatro tipos: sedimentarios-terrosos, sedimentarios-itabíricos, especulares y magnetita. La interpretación teórica del comportamiento de los minerales en la aglomeración la hace el Dr. Chang en función de la diferencia entre la energía libre y el estado termodinámicamente estable, siendo esta diferencia la que impulsa los cambios de estructura durante la fase de cocción del aglomerado.

En el debate de este trabajo tomaron parte los señores Jacques Astier, del IRSID, Francia, Jack Miller, de Battelle Memorial Institute y Alfonso Bragard del CNRM de Bélgica, éste último con una contribución escrita que se incluye en el texto del debate reproducido más adelante.

La reunión finalizó con la presentación del trabajo del Ing. R. W. Hornbaker, de Koppers Co., EE. UU. en colaboración con el Ing. R. E. Zimmermann de la misma empresa sobre una "Nueva técnica para la producción de pelets". La exposición oral del documento fué hecha por el Ing. Hornbaker.

El señor R. W. Hornbaker estudió Ingeniería Metalúrgica en la Universidad del Estado de Ohio (EE. UU.). Trabajó por varios años en diversas empresas siderúrgicas de Estados Unidos en aspectos relacionados con desarrollo de productos y asesoría técnica de ventas y estudio de mercados. Trabaja actualmente en la división de Ingeniería y Construcción de Koppers, donde se ocupa de desarrollo de mercado y venta de equipos y procedimientos.

El señor Hornbaker pertenece al Instituto Americano de Ingenieros de Minas, Metalúrgicos y del Petróleo (AIME) y ha sido miembro de diversos comités de trabajo de la American Society for Testing and Materials (ASTM). Además ha publicado numerosos trabajos y artículos técnicos en revistas especializadas de Estados Unidos.

La nueva técnica de producción de pélets que expuso el autor es la de carbonatación y se caracteriza entre otros aspectos por una temperatura de piroconsolidación inferior a la de los procedimientos convencionales. Hasta ahora, el nuevo procedimiento ha alcanzado la etapa de planta piloto, pero según el autor, los resultados obtenidos pueden considerarse satisfactorios.

Un aporte interesante para la interpretación de las proyecciones eventuales de esta técnica lo constituye el debate del documento y en el cual participaron el Prof. Sven Eketorp del Royal Institute of Technology de Suecia; Dr. Melvin C. Chang, de Dravo Corporation, EE. UU.; Ing. Jack Miller del Battelle Memorial Institute, EE. UU.; Satoru Uchikawa de Fuji Iron and Steel Co. Ltd., Japón y el Ing. Jacques Astier del IRSID, Francia.

El acero en la ingeniería; progresos y problemas

Por Dr. Ing. Helmuth Odenhausen,

Director de la Beratungsstelle für Stahlverwendung, Düsseldorf.

1. Influencia del empleo de acero sobre la construcción y la arquitectura.

La historia de la construcción se deja dividir en dos grandes épocas, en parte consecutivas y en parte superpuestas:

construcción con materiales naturales

hasta más o menos mediados del siglo pasado y, a continuación,

construcción con acero laminado y cemento.

El empleo de acero laminado influyó de manera decisiva sobre la construcción de los edificios, pero muy poco sobre su arquitectura. Esto se origina simplemente por el hecho que —muy por el contrario de lo que sucede con automóviles, barcos y ferrocarriles— en la construcción, el acero se sustrae por lo general a la vista, en parte debido a su unión con el concreto (construcción de concreto armado) y en parte debido al revestimiento contra incendios (construcción en acero). Por lo tanto, en nuestras construcciones, el acero no es en general visible y, en el mejor de los casos, es perceptible. Por este motivo se ha llegado hasta ahora al punto de un impulso extraordinario de la arquitectura en acero, siendo que el verdadero nacimiento y la floración aún se encuentran lejos.

Esta falta de estar a la vista, significa para el material de construcción acero también una falta de publicidad y con ello, lamentablemente, también significa un obstáculo comercial. El empleo exclusivamente constructivo del acero depende sin excepciones de consideraciones estrictamente económicas, en tanto que su presencia arquitectónica tiene por fundamento en primer lugar una reflexión artística. Ya que, además, la conciencia del acero se fija en la opinión pública casi exclusivamente a través de su empleo arquitectónico, resulta que la influencia de la utilización de éste en la construcción es mínima.

En este sentido la construcción de puentes de acero constituye una excepción, principalmente los puentes sobre ríos construidos en los años 60, —entre éstos de manera muy especial los puentes colgantes y los de vigas reforzados por cables tensores— que despliegan a la vista y en toda su perfección la unidad entre construcción y arquitectura. Así por ejemplo es imposible dejar de reconocer la influencia de la construcción de puentes de acero sobre la construcción y arquitectura de espaciosos recintos para deportes, fábricas, exposiciones y otros usos. Aún más, también de la moderna construcción de puentes partieron vigorosos impulsos para el empleo de acero en todo tipo de construcciones.

2. Alcances y reglas generales del empleo de acero en la construcción.^{2 3 4}

Hace ya tiempo que la construcción se cuenta entre los mayores mercados parciales para el acero y los productos de acero. Por ejemplo, en la República Federal de Alemania, un tercio de la aplicación del uso interno del acero en el país recae sobre la construcción. Es de estimar que esta participación se ampliará aún más en un futuro cercano. De la cantidad total de acero empleado en la construcción, más o menos la mitad se utiliza en construcciones industriales y profesionales, incluyendo cobertizos, y más o menos un cuarto se utiliza en la construcción de viviendas. En estos casos se ha comprobado que el gasto específico del acero es tres veces mayor para las construcciones industriales que para la construcción de viviendas. La explicación para ello se encuentra en las mayores cargas de techumbre, la mayor necesidad de envidados, los edificios de varios pisos y, finalmente, el aumento de gastos que significan las instalaciones mecánicas que generalmente llevan estas construcciones, tanto como el intensivo empleo de acero en la construcción de hangares y bodegas.

El uso del acero en las partes soportantes en las construcciones de cierta altura se extiende en lo esencial a dos tipos de construcción que se enfrentan en una fuerte competencia: construcción en acero y en hormigón armado. La intensidad de la aplicación del acero en estos tipos de construcción varía entre 5 : 1 hasta 2 : 1, según el tipo de las edificaciones, siendo la relación 2 : 1 típica para las construcciones de varios pisos, levantadas en los años 60. De Inglaterra conocemos las siguientes cifras: hormigón pretensado 0.5; hormigón armado corriente 1.0; construcción en acero 2.3. Estas cifras resultan de una regla general, según la cual disminuye la intensidad del uso de acero en la construcción en acero, aumentando por el contrario en la construcción de hormigón armado. Esta regla general se representa esquemáticamente en la fig. 1.

Debido a la competencia entre ambos tipos de construcción, es un desarrollo que se acostumbra a designar como “desmaterialización de las construcciones” o “construcción liviana”. Construcción liviana significa secciones más pequeñas para las partes de soporte. En la construcción en acero esto se logra por lo general con un límite de fluencia más alto y con una estructura de sección estáticamente más favorable, por lo tanto, con menos acero; en la construcción de hormigón armado, en general, se logra con una multiplicación de la armadura, es decir, con más acero.

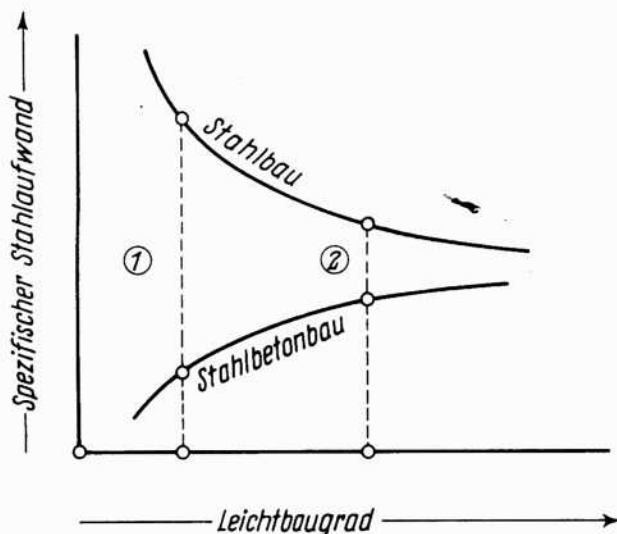


Figura 1 — El gasto específico de acero en función del tiempo o del peso de la construcción disminuye en la construcción en acero y aumenta en la construcción de hormigón armado. Representación esquemática.

Caso 1 construcción maciza. Caso 2 construcción liviana. Foto del autor.

Stahlbau=estructura de acero; Stahlbetonbau=estructura de hormigón armado; Spezifischer Stahlaufwand=gasto específico de acero; Leichtbaugrad=grado de liviandad.

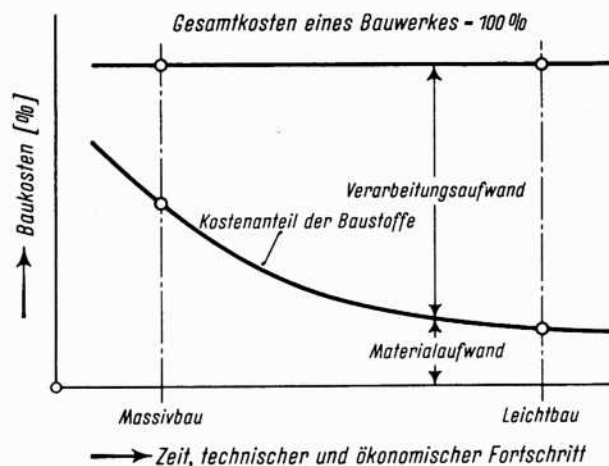


Figura 2 — La proporción relativa del costo de los materiales en el costo de un edificio disminuye en función de la vida de la construcción, del peso estructural y del progreso técnico y económico.

Foto del autor. Gesamtkosten eines Bauwerkes=costo total de una construcción; Baukosten=costos de construcción; Verarbeitungsaufwand=gastos de fabricación; Kostenanteil des Baustoffe=proporción de los costos de los materiales de construcción; Materialaufwand=gastos de materiales; Massivbau=estructuras pesadas; Leichtbau=estructuras livianas; Zeit, technischer und ökonomischer Fortschritt=tiempo, progreso técnico y económico.

Otra regla general interesante puede comprobarse en el desarrollo de costos: esto es la relativa baja de los costos de material de una construcción —en nuestro caso el acero laminado— en relación a los costos de transformación, instalación, equipamiento y prestación de servicios. Este desarrollo se representa esquemáticamente en la fig. 2. El fundamento de lo anterior se encuentra en el cambio hacia la construcción ligera, en el continuo aumento de los salarios y en el permanente crecimiento del grado de tecnificación de las construcciones modernas.

3. La construcción de hormigón armado.

Seguramente no es equivocado decir que en la República Federal de Alemania el consumo de acero en hormigón armado corresponde al 12-15% del consumo total de acero, lo que corresponde más o menos al 40% del consumo de acero de la construcción. La construcción en hormigón armado se ha constituido en el hecho en uno de los clientes más importantes de la industria siderúrgica. Este estado de cosas no es valorado en su justa importancia la mayoría de las veces, y justamente porque el acero para armaduras es absolutamente invisible en la construcción terminada.

Entre tanto, la sostenida aceptación del acero en las obras de ingeniería civil en los últimos años se ha debido por una parte al empleo del hormigón armado en reemplazo de la mampostería, y por otra en el ya mencionado aumento de las cargas que toma la propia armadura de acero del hormigón armado. Un ejemplo que salta a la vista de la influencia de ambos factores es el proyecto HABITAT 67 en la Exposición Mundial de Montreal.

Este tipo de construcción ha alcanzado un gran éxito tanto técnico como económico en la post guerra. Esto se ha logrado a través del aumento de la calidad del acero para hormigón, especialmente debido al empleo de resaltes en las barras y al aumento del límite de fluencia por estirado en frío, como también al empleo de mejores cementos. Una ventaja adicional consiste en la protección propia del hormigón armado contra el fuego y la resistencia a la acción del tiempo que posee la superficie del hormigón. No debe olvidarse, también, que el precio del cemento y en parte el del acero han sido relativamente bajos en el período de post guerra.

Este desarrollo ha permitido compensar las desventajas tecnológicas de la construcción de hormigón armado, que se sitúan entre los trabajos de mayor intensidad salarial, y pese a los crecientes costos salariales mantiene su nivel ascendente.

La desventaja más decisiva se ha manifestado recién en el presente: su inaptitud para cambios, ampliaciones, complementaciones y, finalmente, los altos costos y dificultades para su eliminación. En pocas palabras: su falta de flexibilidad.

4. Construcción en acero.^{5 6}

Para la construcción por pisos o de grandes recintos, la construcción en acero es tanto más económica en competencia con otros tipos de construcción, cuanto más grandes sean los espacios y las distancias entre pilares; cuando mayor proporción de superficie y espacio útiles se pida en relación a la superficie total y cuanto más amplias sean las exigencias respecto a posibilidades de variación de la construcción. En edificios de muchos pisos la economía aumenta en general en forma proporcional al aumento del número de pisos. Ocasionalmente se prefiere, por motivos arquitectónicos la construcción en acero, cosa que sucede especialmente en el caso que se pueda prescindir de un revestimiento a prueba de fuego en las partes externas de la construcción.

También durante la edificación se pueden presentar ciertas circunstancias que intervengan para preferir la construcción en acero, ya que ésta, por naturaleza, es muy apta para la prefabricación. Así la construcción se tras-

lada del sitio de la edificación al taller. Por lo tanto, la construcción en acero es siempre favorable cuando debe construirse de manera rápida y en espacio reducido.

Para la construcción de puentes, la construcción en acero es en general la más económica con las cargas usuales para puentes carreteros o de ferrocarril y con luz mayor de 100 m. más o menos. Bajo este límite domina la construcción de hormigón armado o la de hormigón pretensado. Para puentes que requieran una mayor capacidad de carga, como por ejemplo puentes para peatones o puentes para soportar instalaciones de agua y energía, siempre resulta económica la construcción en acero.

Un nuevo mercado para el acero se ha formado con la construcción de conjuntos de vías de circulación en zonas densamente pobladas. Estos conjuntos proporcionan dos niveles de tráfico y comprenden carreteras o vías permanentes, puentes para peatones e incluso edificios para estacionamientos de vehículos de varios pisos. La figura 3 muestra una carretera construida con plancha doblada a 90° en Essen y que fue montada en pocas horas.

5. Construcción monolítica y por elementos.

La construcción monolítica —principalmente el campo del hormigón armado— y la construcción por elementos —un nuevo desarrollo en la construcción en acero— son sistemas contrapuestos. Naturalmente, ambos tienen sus ventajas y desventajas. La construcción monolítica se presenta mucho más libre de problemas desde un punto de vista de tecnología de la construcción. Posiblemente sea también más apropiada para mostrarle al mundo futuro un testimonio de la arquitectura y de la orientación de la construcción del presente.

Sin querer catalogar lo anterior como insignificante, debe ponerse énfasis en que la construcción por elementos tiene esencia mucho más adaptable a las mejoras que es necesario adoptar para satisfacer ciertas exigencias, lo que se traduce en estructuras funcionales y adecuadas.

Siempre que se hable de construcción hoy en día, uno se debe formular preguntas y obtener respuestas sobre su significado. Un edificio contemporáneo no constituye un fin en sí mismo, un monumento a sí mismo, un templo a una ideología decadente ni tampoco es para abreviar el camino a la inmortalidad ni es adecuado para conservar la gloria sea de vivos o muertos; tampoco está dedicado como lo creían las gentes del medioevo, a la mayor gloria de Dios.

En forma sobria y contraria a todo dogmatismo ideológico debemos dejar en claro que una estructura es sólo el medio para obtener un fin: algo para vivir, para los servicios de administración, para la producción industrial, la investigación, las comunicaciones y muchas otras actividades de la humanidad. De acuerdo con este criterio funcional, el valor de una estructura se juzga en función de cómo favorece las más variadas actividades. Las tecnologías de nuestro tiempo, que cambian con rapidez, no pueden continuar ciñéndose a diseños arbitrarios sino que, por el contrario, la edificación tiene que ser capaz de adaptarse a los últimos requisitos económicos y técnicos. Este vuelco en las exigencias que deben satisfacer la edificación y los usuarios, sin embargo no es motivo para crear edificios feos y con una arquitectura discordante, sino que más bien es un argumento en favor de la construcción por piezas o elementos.

El exigir adaptabilidad de las construcciones —o, para utilizar una expresión más usual entre arquitectos y urbanistas— el exigir flexibilidad, ha cobrado importancia en cierto modo de la noche a la mañana. Esta exigencia resulta del amargo reconocimiento de la hora presente que, de pronto, colegios, hospitales, edificios habitacionales, y de fábricas de hace algunos años se habían envejecido y eran inservibles, porque habían cambiado las funciones o el tipo de utilización. En una construcción monolítica no es posible introducir modificaciones para ir satisfaciendo los requisitos del desarrollo y del progreso continuo. Esto en-

cierra pérdidas económicas considerables. Si fijamos en 50 años la duración de una estructura de un edificio, debemos tomar en cuenta que ocurrirán cambios en todos los aspectos de la vida que pueden alterar la funcionalidad de la construcción del edificio muchas veces en dicho período. Flexibilidad significa: completa libertad en la distribución del espacio y en la conformación del plano, la posibilidad de modificar las instalaciones una vez montadas, tabiques o muros de separación en lugar de muros o pilares soportantes. Flexibilidad comprende también la demolición eventual en forma sencilla y barata. Bajo estas condiciones la construcción por partes o elementos presenta muchas ventajas en comparación con la construcción monolítica.

6. Reglamentos de cálculo y construcción.

En todos los países hay reglamentos de cálculos y construcción de obras civiles. En las construcciones de acero estos reglamentos son muy importantes y se refieren primordialmente a la protección contra incendios y a las condiciones de resistencia y estabilidad.

6.1. Seguridad contra el fuego.⁷⁸⁹

Cuando el acero se calienta a 500 hasta 550°C baja notoriamente su resistencia. En consecuencia, a esta temperatura las estructuras de acero del hormigón armado y en pretensado pierde su capacidad de carga.

En todas partes en que corra peligro la vida humana, deben encontrarse medidas para protección contra el fuego en las construcciones. Para el hormigón armado y el hormigón pretensado la protección contra el fuego es muy simple: el acero se distribuye de tal manera que quede rodeado por una gruesa capa de hormigón. En la construcción en acero, por el contrario, una protección de este tipo resulta a menudo muy onerosa, si se recurre a revestimientos, y fuera de no resultar económica muchas veces tiene un efecto desfavorable sobre la arquitectura de la edificación.

Por lo tanto la tarea de las disposiciones de protección contra el fuego consiste en lograr en cada caso el tipo de medidas de protección que correspondan en cuanto a forma y extensión, al grado de peligro para la vida humana. Así por ejemplo carece de sentido prescribir un revestimiento protector en aquellas edificaciones en las que no se hallan sustancias combustibles o que cuenten con suficientes vías de escape. Por otra parte resultaría irresponsable eliminar por completo las medidas de protección, por ejemplo en un almacén.

Ahora bien, en la práctica se llega sólo en raras oportunidades a una correspondencia razonable entre el tipo y extensión de la protección contra el fuego en relación al grado de peligro para la vida humana, en los mencionados reglamentos. Es natural que los reglamentos tiendan a ser exigentes en los aspectos de seguridad al ponderar la seguridad y la economía, esto es, que sea sobrestimada la seguridad y subestimada la economía. Y por ello, en muchos países las prescripciones vigentes de las autoridades constituyen un serio obstáculo para la construcción en acero.

Una investigación de la Alta Autoridad de la Comunidad Europea del Carbón y del Acero (+) llega al resultado:

“... que un mejoramiento de las prescripciones vigentes en los Estados miembros de la CEEA es posible y deseable en gran medida en el interés de la construcción”.

Un fundamento adecuado para el mejoramiento de estas prescripciones, es la medición de las medidas de protección contra el fuego en base a la “carga de fuego” o, correspondientemente, a la carga de fuego modificada.

Bajo carga de fuego se entiende aquella cantidad de calor referida a la unidad de superficie útil, que puede ser liberada en caso de incendio. La carga de fuego modificada

+ Nota: sobre las disposiciones sobre protección contra el fuego en el campo de la construcción en acero. Docto. N° 4282/1/1966 d.

se obtiene considerando la influencia de aspectos constructivos, como por ejemplo tamaño y posición de las superficies de ventanas, distribución de las vías de escape, grosor de los perfiles laminados de soporte, tipo de sistema estático, características de las instalaciones contra incendio, etc. Partiendo de la carga de fuego, o la carga de fuego modificada, es posible calcular por medio de una operación estandarizada la clase de protección contra el fuego, y partiendo desde aquí, también se puede calcular a su vez el tipo y extensión de la protección contra el fuego. Ya existen cálculos para este tipo de estimaciones en el campo de la construcción industrial (**). Con este tipo de cálculo que se basa en experiencias e investigaciones, se puede lograr una protección contra el fuego efectiva y al mismo tiempo económica, adecuada a cada caso especial. De este modo pueden ser eliminadas las medidas necesarias de protección contra el fuego del campo de apreciaciones de las autoridades para ser reemplazadas por cálculos objetivos y reglamentados.

El mejoramiento de los reglamentos de construcción —y dentro del marco de lo posible su unificación internacional— debe continuar siendo la meta que persigan conjunta e incansablemente tanto la industria siderúrgica como la industria de la construcción en acero. Pero, e independientemente de lo anterior, deben buscarse desde ya soluciones constructivas que posibiliten una construcción económica en acero, pese a las disposiciones limitativas. Como ejemplo ilustrativo para lo anterior se muestra el nuevo edificio de administración de la USS en Pittsburgh. Para él se eligieron soportes exteriores colocados a distancia de la fachada, de manera tal que, en un incendio, y en el peor de los casos, pueden ser alcanzados solamente por un lado por lenguas de fuego que lleguen al exterior. Fuera de ello, estos soportes externos cuentan con un relleno de agua, protegido con antirefrigerantes y anticorrosivos, el cual en casos de incendio absorbe y elimina el calor producido por medio de la evaporación, en tanto que el agua se renueva constantemente.

Hay que contar con que en el futuro y frente a la exigencia de flexibilidad en los edificios de varios pisos, se eviten cada día más los soportes internos. Bajo este punto de vista ganarían una importancia especial los soportes externos refrigerados por agua o protegidos contra el calor en su cara interna.

6.2. Seguridad estática.

Se prescriben determinados factores de seguridad en los cálculos de resistencia y para la determinación de los esfuerzos entre las partes de la construcción. Estos factores se refieren a las tensiones permitidas o las cargas que se aceptan, o a ambos, y varían considerablemente tanto en los diversos países de Europa como en otros continentes. Esta falta de uniformidad tiene en verdad una justificación histórica, pero hoy en día ya no es posible defenderla objetivamente. Es un obstáculo para la exportación, para un progreso científico uniforme de la construcción como un todo y, en algunos casos, también para la forma científica de construir. Por lo tanto también va en el interés del construir con acero el tratar de unificar internacionalmente estos valores numéricos y de mejorarlos según puntos de vista modernos.

7. Aceros de alta resistencia para construcciones.^{10 11}

Una medida efectiva para proporcionarle una mayor economicidad a la construcción en acero, se encuentra en la utilización selectiva de aceros estructurales de alta resistencia a precios adecuados. Lamentablemente los productos de acero laminados en caliente que requiere la construcción en acero en general, con excepción de los delgados perfiles laminados en frío, no pueden someterse al

endurecimiento por deformación en frío. Por motivos de costos, hay que prescindir también de los aceros para construcción altamente aleados. Por el contrario, resultaría muy importante lograr que resulten comercialmente atractivos para la construcción en acero, los precios de aceros para construcción de baja aleación, soldables y de alta resistencia.

Es sabido que un material de construcción vale tanto como cualidades de aplicación tenga. Las más importantes cualidades de utilización en la construcción son esencialmente el límite de fluencia σ_s y el módulo de elasticidad E . Ya que el módulo de elasticidad es prácticamente el mismo para todos los aceros para construcción, pasa a primer término para la evaluación de estos tipos de acero el límite de fluencia.

Además, como los factores de seguridad son iguales para todos los aceros, la fatiga admisible σ_{nt} es directamente proporcional al límite de fluencia σ_s . Se considera aquí que la carga dinámica es despreciable.

El mayor precio admisible de un acero estructural de alta resistencia que llamaremos F_{ex} con un límite de fluencia σ_{sx} en relación con un acero estructural corriente como el Fe 37 con límite de fluencia σ_{s37} resulta ser igual a:

$$A_x = 0.43 \frac{\sigma_{sx} - \sigma_{s37}}{\sigma_{s37}} \times 100\%$$

Esta fórmula, calculada por el autor se basa en las siguientes consideraciones e hipótesis:

- El sobreprecio aceptable se basa exclusivamente en la mayor resistencia, o más exactamente, en el mayor límite de fluencia del acero estructural de alta resistencia. Esta mayor resistencia se traduce en una menor sección transversal, o sea un ahorro del peso de las partes estructurales soportantes.
- Para todas las barras en tracción se utilizan aceros estructurales de alta resistencia, pero en las barras en compresión se pueden usar sólo para aquellas cuyo grado de esbeltez sea $\lambda \leq 115$.
- En una construcción se emplea más o menos el mismo número de barras en tracción que en compresión, estas últimas, como también de compresoras con un grado de esbeltez $\lambda \leq 115$.
- La carga dinámica es tan pequeña que puede ser despreciada.
- La mayor resistencia debe favorecer en igual proporción tanto al productor como al constructor en acero.

De esta manera el sobreprecio relativo de un acero estructural de alta resistencia del tipo Fe 52 con un límite de fluencia $\sigma_{s52} = 36 \text{ Kg/mm}^2$, frente al Fe 37 con un límite de fluencia $\sigma_{s37} = 24 \text{ Kg/mm}^2$ se calcula como sigue:

$$A_{52} = 0.43 \frac{36 - 24}{24} \times 100 = 14,3\%$$

8. Elementos de construcción actuales.

El construir con acero fue impulsado notoriamente en la época de postguerra por el desarrollo de elementos de construcción modernos. Este desarrollo se refiere tanto a las partes de soporte como a elementos de terminación de una construcción. Se caracteriza por una parte por un aumento del rendimiento estático, y, por otra, por mejoras constructivas y arquitectónicas.

8.1. Perfiles IPE¹²

Se han introducido con éxito en la construcción los perfiles IPE, según la EURONORM 19. En su empleo como vigas permiten, especialmente en sus medidas más grandes, un aprovechamiento más favorable de materiales, po-

** DIN 18230. Protección arquitectónica contra el fuego en la construcción industrial, determinación de la clase de protección, Proyecto de norma 1967.



Figura 3 — Carretera elevada. Cruce sobre nivel portátil, de acero, en Essen. Vista de noche. Dos vías de tránsito. Largo 240 m., Curva en ángulo recto con radio de 150 m. pendientes de 6 y 7%. Peso en acero 517 t. Foto Krupp.

sibilidades más fáciles para uniones y una apariencia arquitectónica satisfactoria. También en su combinación con las vigas de alas anchas resultan posibilidades arquitectónicas interesantes.

8.2. Vigas "vientre de pescado" (fish beam); "de celosía alveoladas" de alma perforadas.^{13 14}

También otras formas de vigas, como las mencionadas, enriquecen las posibilidades de la conformación constructiva y arquitectónica. Las vigas alveoladas se fabrican de vigas laminadas a las que después de hacerles separaciones de tipo cremallera en el alma se les une por soldadura las partes desmontadas. La economicidad de la fabricación puede lograrse en general solamente cuando es posible servirse de instalaciones automáticas para la separación y soldadura. El momento de inercia elevado de estas vigas y los orificios hexagonales en el alma, favorecen su empleo como soportes de techumbre para edificios con grandes necesidades de instalación. Últimamente han comenzado a emplearse también vigas laminadas con perforaciones circulares en el alma. Las perforaciones se hacen mediante oxicorte. El efecto arquitectónico es muy satisfactorio, como lo muestra la fig. 4.

8.3. Perfiles laminados en frío.¹⁵

Otro elemento de construcción que está ganando una aceptación creciente es el perfil laminado en frío. Estos perfiles se fabrican esencialmente por medio de procesos de doblado y estirado en frío del acero laminado en caliente plano (chapas, bandas laminadas en caliente, bandas laminadas en frío, flejes anchos). Este tipo de fabricación le permite al constructor, incluso en pedidos relativamente pequeños, un máximo de libertad en la conformación de

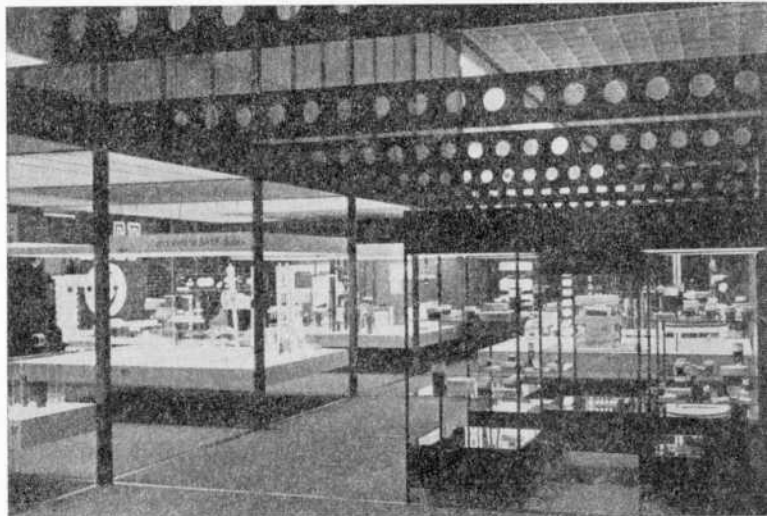


Figura 4 — Empleo de vigas con alma perforada en un stand de exposición. Foto: Badische Anilin - und Sodafabrik.

los cortes transversales. Además, la fabricación por estirado en frío especialmente, permite elevar los valores para los límites de fluencia y resistencia del material, y esto se puede lograr, planificándolo con anterioridad, para todo el largo del perfil o sólo para una parte de éste. Este trabajo en frío puede ser aplicado utilitariamente por el constructor en sus cálculos de resistencia. Así puede lograrse un beneficio similar al que proporcionarían los aceros para hormigón armado estirados en frío.

8.4 Perfiles huecos.^{16 17 18}

Otra ampliación en la gama de los elementos de construcción soportantes son los perfiles huecos, especialmente los perfiles huecos cuadrados. La ventaja es aquí también la eficacia estática del perfil hueco y su efecto formal. En los perfiles cuadrados las uniones soldadas y los puntos de ensamble son sencillos, sin obstáculos para la vista y estéticamente, como puede observarse en la fig. 5.

Últimamente se han desarrollado entramados espaciosos, cuyos elementos consisten especialmente de barras formadas por tubos de acero. Los puntos de empalme se unen en forma rígida por medio de soldadura o pernos. Este tipo de estructuras de espacios enrejados tienen un especial encanto arquitectónico. La fig. 6 es una demostración para lo dicho: muestra una toma nocturna de una iglesia con una construcción espaciosa de planos de tubos de acero apernados.

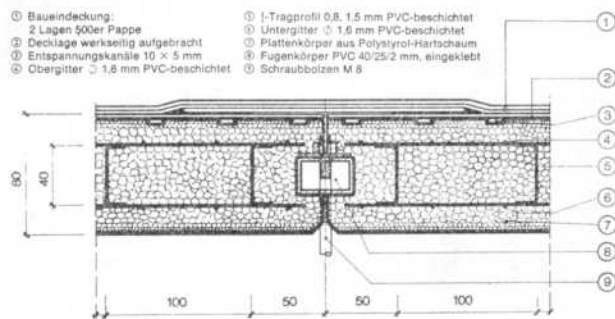


Fig. 5 — Puntos de ensamble y unión en perfiles rectangulares. Foto: Stahlberatung.

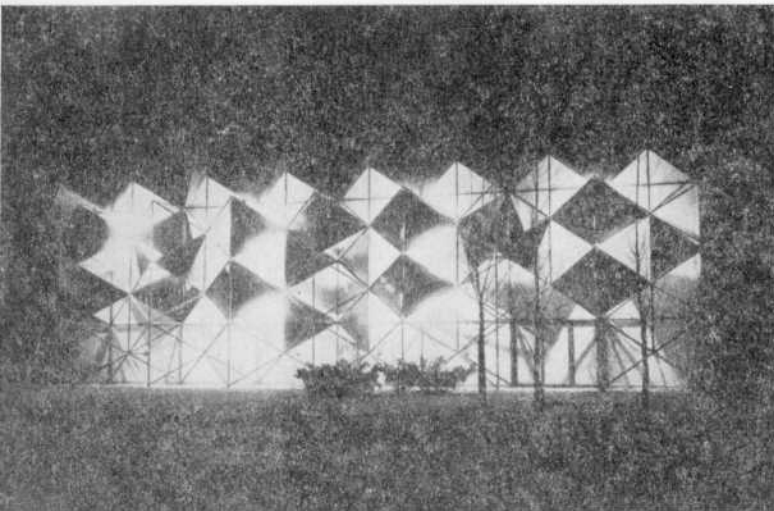


Fig. 6 — Iglesia evangélica en Düsseldorf-Eller. Estructura de tubos de acero galvanizados y uniones redondas fijadas con pernos, sistema Mengerlinghausen. Arquitecto Schulze-Fielitz. Foto: Stahlberatung/Schäfer.

8.5. Cables de acero.^{19 20 21}

El cable de acero empleado ya hace tiempo como elemento de tracción en ascensores y como elemento de construcción para el esfuerzo de tracción en los puentes colgantes, se viene utilizando últimamente también para techos. En especial para grandes espacios resulta adecuado y económico. Para reducir su susceptibilidad frente a oscilaciones, se emplea en forma de red o de entramado de cables pretensados.

Seguramente que aquí también influyeron puntos de vista arquitectónicos para llegar a estas modernas techumbres de cables.

8.6. Planchas o placas.^{22 23 24}

Los elementos en forma de planchas o placas galvanizadas, o cubiertos con revestimientos de materias plásticas, bituminosas o asbesto, tanto para techumbres como para muros, son un nuevo tipo de materiales para terminaciones de grandes recintos o de estructura. Entretanto ha aparecido una numerosa cantidad de perfiles y dimensiones con diferencias tanto en los valores estáticos como en el efecto arquitectónico. Existen elementos laminados de una o dos capas, con y sin aislamiento térmico o acústico. Elementos laminados de este tipo se utilizan también para tabiques de separación móviles. El empleo creciente de estos tabiques se relaciona con la exigencia en cuanto a flexibilidad que mencionáramos en un comienzo.

Hay un elemento para techumbre que constituye un desarrollo novedoso que vale la pena mencionar, y que está formado por una plancha de "espuma dura", reforzada por perfiles laminados en frío y malla de alambre de acero. La fig. 7 muestra un corte de este elemento de construcción.

9. Protección de superficies.

La protección de superficies de acero, frecuentemente origen de fracasos en el pasado, no continúa siendo hoy en día un problema. Hoy en día la tarea consiste en emplear el procedimiento que técnica y económicamente sea más adecuado a cada caso previsto de utilización.

9.1. Galvanización por inmersión en caliente.²⁵

La galvanización al fuego constituye actualmente la protección de superficie más usada al construir con ace-

ro. La sobresaliente protección contra la corrosión en los productos de acero que brinda el recubrimiento con zinc descansa sobre la acción electroquímica de éste. En la presencia de humedad, el elemento hierro forma con el zinc una pila eléctrica, en la cual el zinc se sacrifica como ánodo para proteger catódicamente al acero. Esta protección se hace efectiva en todos aquellos casos en que el recubrimiento de zinc ha sido dañado y el acero ha quedado expuesto. El zinc circundante protege las zonas dañadas contra la oxidación y las deja "cicatrizarse" con los productos de su descomposición por efecto del clima y con los cuales las recubre.

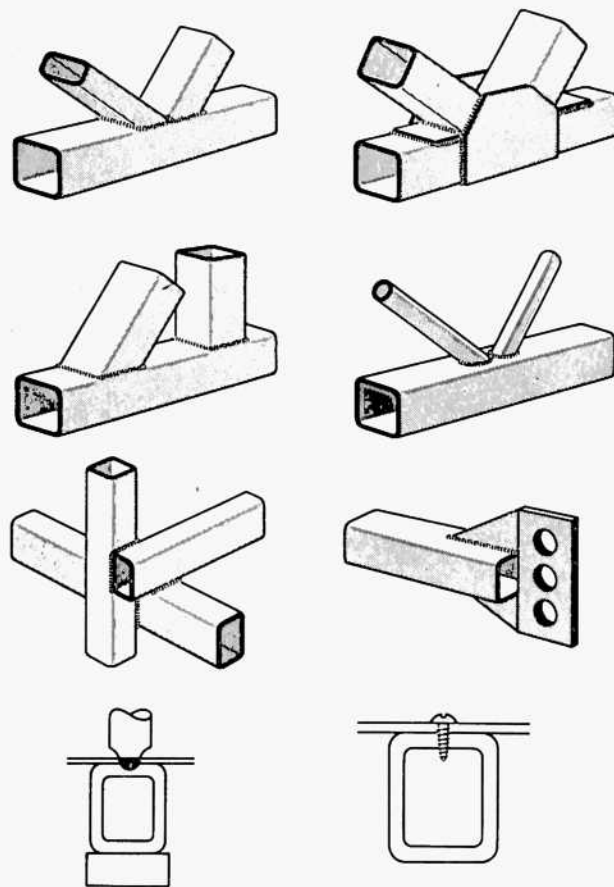


Fig. 7 — Corte a través de un elemento de planchas para techumbre de espuma dura reforzada por medio de perfiles formados en frío y mallas de alambre de acero. Ancho 1 m, largo 10 m. Foto: Deutsche Linoleum-Werke.

- 1) Baueindeckung: 2 Lagen 500er Pappe=Cubierta: 2 capas cartón 500.
- 2) Decklage werkseitig aufgebracht=Capa del techo montada en la obra.
- 3) Entspannungs kanäle 10 x 5 mm=Canal de expansión 10 x 5 mm.
- 4) Obergitter diam. 1,6 mm PVC-Beschichtet=Malla superior diam. 1,6 mm cubierta de PVC.
- 5) Tragprofil 0,8; 1,5 mm PVC-Beschichtet=Soporte lateral 0,8; 1,5 mm cubierta de PVC.
- 6) Untergitter diam. 1,6 mm PVC-Beschichtet=Malla inferior diam. 1,6 mm cubierta de PVC.
- 7) Platten körper aus Polystyrol-Hartschaum=Plancha de espuma dura de Polystyrol.
- 8) Fugenkörper PVC 40/25/2 mm, eingeklebt=Unión PVC 40/25/2 mm., pegadas.
- 9) Schraubbolzen M8=Perno roscado M8.

En contraposición a recubrimientos sólo con pintura, los recubrimientos con zinc no se oxidan por debajo, gracias a su acción electroquímica. Sin embargo se ha observado que la galvanización sola no es suficiente por regla general, ya que también el zinc está expuesto a una lenta corrosión. De acuerdo con esto la galvanización debería considerarse sólo como la mejor base posible para colocar pintura o una capa de material plástico encima. Finalmente, la duración de la pintura sobre una base galvanizada es ostensiblemente superior a la de la pintura colocada directamente, proveído que se cumpla con ciertas recomendaciones conocidas.

9.2. Recubrimiento con material plástico.²⁶

Hoy en día se encuentran disponibles chapas de acero recubiertas de materiales plásticos para su empleo en la construcción, tanto en el exterior como en el interior, de distintos tipos, modelos y colores. En ellas se unen la resistencia, la rigidez y la incombustibilidad de la chapa de acero con la inalterabilidad a la corrosión y el efecto de color del material plástico. La conformabilidad de las chapas de acero revestidas de material plástico por medio de la formación en frío es extraordinariamente buena y puede también realizarse de manera económica. Lo mismo es válido también para los procedimientos de ensamble, especialmente uniones de lengüeta, por embalariado (corrugaciones), apernar y soldar. También aquí hay que tomar en cuenta algunas reglas.

9.3. Esmaltado.²⁷

La resistencia a la acción del clima de las chapas de acero se conoce ya hace tiempo. Viejos carteles con nombres de calles o señalizaciones en estaciones de ferrocarril que han estado allí por decenios, son un buen ejemplo para comprobar este hecho. Para una duración prácticamente ilimitada de elementos de construcción de planchas de acero esmaltadas hay que considerar como condición previa que no tengan que soportar grandes esfuerzos de flexión y que no estén expuestas a esfuerzos mecánicos de choque. Desde este punto de vista se las podría comparar lejanamente con elementos de construcción de vidrio.

Un campo de aplicación importante son los paneles para paredes de revestimiento y de superficie. La superficie lisa que rechaza la suciedad, la luminosidad y color fijos de la capa de esmalte es en este caso una ventaja. Este tipo de paneles deberían instalarse adecuadamente de manera que —en forma similar a los planos de cristal— se pudieran cambiar fácilmente en caso de dañarse.

Debe distinguirse entre el esmalte corriente con esmalte de base y de superficie y el esmalte en una sola capa. Este último se desarrolló no sólo por motivos económicos, sino también por las ventajas que trae consigo la capa delgada y única de esmalte en cuanto a importantes cualidades físicas, como resistencia a la compresión y resistencia a la abrasión y su inalterabilidad al calor.

La Fig. 8 muestra una casa prefabricada en acero con el exterior de planchas de acero esmaltadas. En este caso el acero ha resistido bien la prueba del tiempo.

9.4. Hojalata.²⁸

El empleo de hojalata (chapa de acero estañada) con objetivos de decoración y arquitectura de interiores es tan nuevo como económico. Especialmente en casos de iluminación artificial se pueden lograr efectos sorprendentes, como lo muestra la fig. 9.

Hojalata fina laminada en frío de 25 a 50 de espesor, se ha empezado a utilizar últimamente para la impermeabilización de techos planos. Para ello esta hoja se pega sobre una capa de asfalto frío y luego se recubre con asfalto caliente.

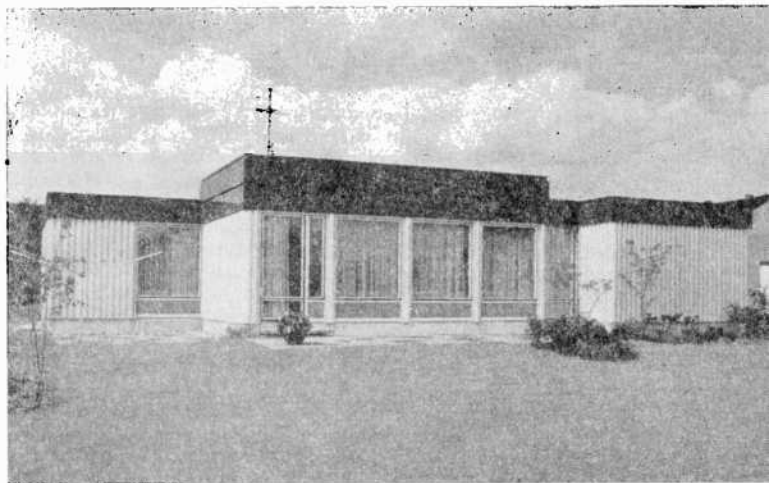


Fig. 8 — Casa prefabricada de acero en Berlín. Proyectada por el Centro de Información del acero de Düsseldorf. Arquitecto: Prof. Vellguth, Berlín. Soportes de tubos de acero y perfiles IPE. Caparazón externa de chapa de acero esmaltada. Foto: Stahlberatung/Schäfer.

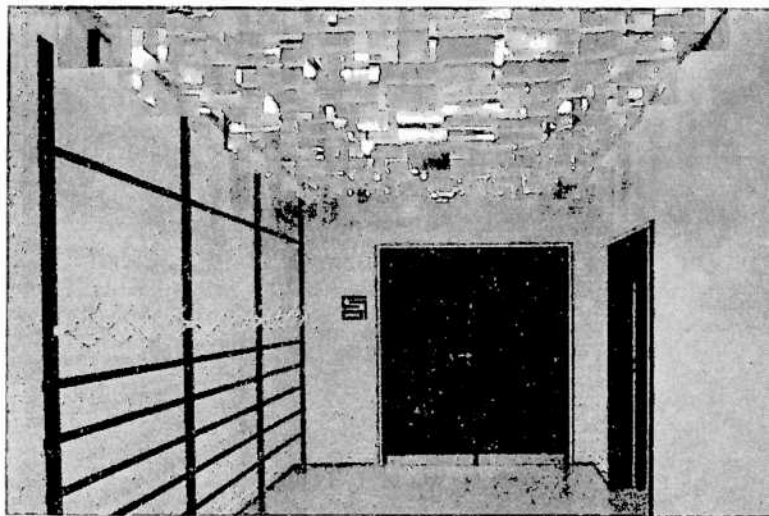


Fig. 9 — Cielo falso en una antesala. Iluminación reforzada mediante empleo de láminas de hojalata. Foto: Stahlberatung/Schäfer.

9.5. Aceros para construcción resistentes a la acción atmosférica.²⁹

Este tipo de aceros ha despertado el interés, en los últimos tiempos, tanto de arquitectos como constructores. Se trata aquí de aquellos tipos de acero de baja aleación cuya superficie, bajo la influencia de las condiciones climáticas se corroe durante cierto tiempo formando una capa de óxido de corrosión, densa, lisa, firme y fuertemente adherida que impide cualquier corrosión posterior por debajo suyo. Con ello se estabiliza en cierto sentido el proceso de corrosión. La base de este comportamiento, al parecer, descansa esencialmente en que la capa de óxido de corrosión sella los poros del acero. La superficie lisa de color orín de esta capa de corrosión tiene además un

encanto arquitectónico muy especial, apreciado por muchos arquitectos, como en el caso de una superficie de hormigón a la vista.

Un efecto especial se logra cuando este tipo de superficies oxidadas de color café oscuro contrastan con fachadas vecinas de color claro, o cuando en el verano están rodeadas del verde natural del follaje. Aparte del efecto arquitectónico, se alcanza con ayuda de estos aceros resistentes a la acción atmosférica, una drástica reducción de los costos de mantención, pues no necesitan pintarse, con lo cual puede mejorarse la economicidad de las construcciones en un margen considerable. No es de extrañar entonces que estos aceros no se usen ya solamente en la construcción por pisos o de grandes recintos, sino que hayan empezado a emplearse en la construcción de puentes.

En el empleo de aceros estructurales resistentes a la acción atmosférica el arquitecto debe considerar algunos principios básicos. Por ejemplo, fachadas de colores claros no deben quedar expuestas a la acción de agua que pueda escurrir o gotear a partir de superficies o elementos contruidos con estos aceros. En el caso de elementos móviles, como puertas o ventanas, las superficies de fricción deben recibir una protección adicional. En atmósfera marina debe tomarse en todo caso la precaución de aplicar una mano de pintura.

9.6. Aceros inoxidables.³⁰

Es sabido que el acero inoxidable posee una protección natural y permanente contra la corrosión debida a los elementos de aleación cromo, níquel y también molibdeno. El empleo de este material tanto para arquitectura interior como exterior cuenta ya con una larga tradición. La cúpula de la torre del Edificio Chrysler construido en 1929 en Nueva York es uno de los primeros testimonios conocidos en este sentido. En este campo el desarrollo aún no ha terminado, pues continuamente se llega a nuevas formas arquitectónicas y se ensayan, aplicándolas luego, nuevas técnicas de conformación de superficies.

Además, hoy en día, este material se emplea para elementos de unión en la construcción por partes en aquellos casos en que se requiere una resistencia absoluta a la corrosión y larga duración, o sea pernos, tuercas, ganchos, espigas, tornillos, molduras de presión, corchetes, arandelas, como asimismo para anclaje de piedras naturales y anclaje tipo "sandwich".

10. Posibilidades futuras.³¹

Hay que contar con que en el futuro cercano, antes que nada, la construcción en hormigón armado va a reemplazar en extensión a la mampostería corriente. Esto significa un mayor crecimiento del empleo de acero en la construcción. Cuando este proceso haya llegado a una cierta saturación, entonces debería suceder que la construcción en acero propiamente tal aumente de proporción. Las bases de esta hipótesis consisten en que seguramente la mano de obra continuará encareciendo en el futuro y que los edificios deberán ser aptos para sufrir transformaciones periódicas a lo largo de su vida útil.

La última circunstancia mencionada tiene efectos decisivos no solamente sobre el edificio mismo, sino también sobre su campo circundante, por ejemplo la ingeniería del tránsito y la planificación urbana en general. De aquí que se esté solicitando cada vez en mayor medida, construcciones e instalaciones de tránsito "más flexibles". Esta flexibilidad en la construcción y en la planificación urbana se logra de la manera más adecuada por medio de la construcción en acero. Es sabido que las edificaciones en acero pueden ser transformadas con facilidad, y se dejan am-

pliar también fácilmente. Por último, si en su lugar es necesario levantar construcciones totalmente nuevas, pueden ser eliminadas en forma relativamente simple y económica. De esta posibilidad se hace uso en los centros de mayor densidad de las grandes ciudades americanas, cuando edificios de 20 pisos deben ser eliminados para construir en su lugar otros de 100 pisos.

Esta flexibilidad también tiene enorme importancia en construcciones para tránsito. En relación con ello recordemos las diferentes carreteras elevadas desarmables que se han levantado en los últimos años en el centro de algunas ciudades europeas. Fueron montadas en pocas horas. Y, si el concepto del tránsito lo exige, pueden ser desmontadas con la misma rapidez, para ser armadas nuevamente en otro sitio donde se las requiera.

Pese a que la población mundial no crecerá de manera explosiva como a menudo se teme, sino que aumentará según las reglas de una curva de saturación, podría sí multiplicarse en el curso de las próximas generaciones. Naturalmente que no se distribuirá de manera pareja sobre la superficie del globo; es mucho más seguro que los centros de mayor densidad existentes y otros nuevos que se formarán, tenderán a aumentar aún más esta densidad. Para ello ya no será una solución satisfactoria el agrupamiento sin coordinación alguna de rascacielos, como los conocemos en los centros de las grandes ciudades norteamericanas. En estas regiones cabría mucho más el llegar a un desarrollo sistemático de la tercera dimensión. Entendemos por ello la planificación de edificios de gran altura aptos para habitación y para albergar también los servicios públicos, el comercio y las comunicaciones del conglomerado que los habilite.

Una primera imagen de este concepto la podría dar posiblemente el proyecto del Alster-Zentrum de Hamburgo de la sociedad constructora "Neue Heimat" que se representa en la fig. 10.

La solución de estas colosales tareas futuras no se puede imaginar de otro modo que a través del acero, pues las edificaciones de pisos múltiples de estas ciudades-espacio deberán ser contantemente alteradas y transformadas, es decir, "flexibles" si han de permanecer funcionales y humanas.

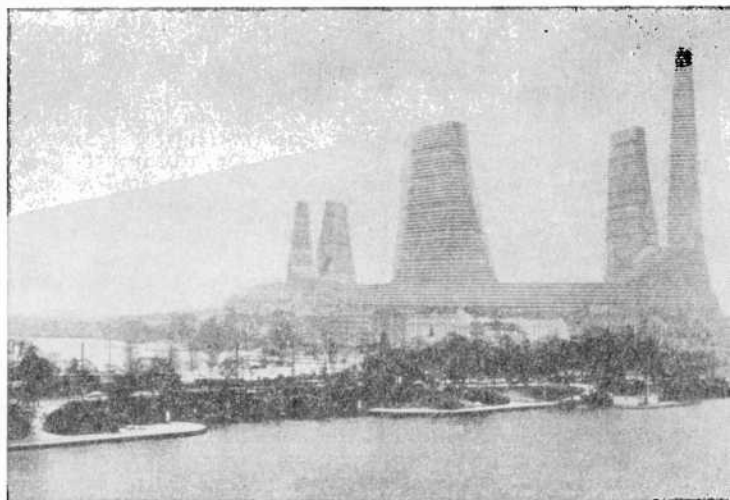


Fig. 10 — Modelo del proyecto "Alster Zentrum" en Hamburgo. Proyecto: Neue Heimat, Arquitecto H. Konwiarz. En el lugar de muchas construcciones sin coordinación entre sí, se propone un complejo único integrado, de muchos pisos. Foto: Neue Heimat.

BIBLIOGRAFIA

- (1) Wittek, K. H., Die Entstehung des Stahlhochbaus, VDI-Verlag Düsseldorf, 1964.
- (2) Wuppermann, G. Th., Bauen mit Stahl, Industriekurier Düsseldorf, Jahrgang 21, Nr. 26, 17.2.1968, Seite 13.
- (3) Odenhausen, H., Wandlungen in der Stahlverwendung, Die Umschau in Wissenschaft und Technik, Frankfurt, 66. Jahrgang, 15.10.1966, Seite 666.
- (4) Odenhausen, H., Einige Betrachtungen zur Zukunft der Stahlverwendung, ACIER-STAH-STEEL, Brüssel, Nr. 12, 1967, Seite 515.
- (5) Internationales Symposium über Hochstrahlen in Stahlkonstruktion, ACIER-STAH-STEEL, Brüssel, Nr. 9, 1967, Seite 387.
- (6) Idelberger, K., Bauen ohne Stauen, ACIER-STAH-STEEL, Brüssel, Nr. 11, 1967, Seite 469.
- (7) Bongard, W., Neue Wege im Feuerschutz von Stahlkonstruktionen, DETAIL, München, Heft 4, 1965, Seite 564.
- (8) Bub, H., Baulicher Brandschutz im Industriebau, Zentralblatt für den Industriebau, Hannover, Band 10, Juni 1964, Seite 264.
- (9) Brandveiligheid Staalconstructies, Publikatie van de commissie research staalconstructies, CENTRUM BOUWEN IN STAAL, Rotterdam, 1966.
- (10) Adrian, H. und Brühl, F., Übersicht über die Entwicklung hochfester schweißbarer Baustähle und Blickpunkte für ihre Anwendung und Verarbeitung, Bericht auf dem Eisenhüttentag 1965, Stahl und Eisen, Düsseldorf, Band 86, Heft 11, 2. Mai 1966, Seite 645.
- (11) Odenhausen, H. und Zessler, G., Die hochfesten schwachlegierten schweißbaren Baustähle — Allgemeine Übersicht, ACIER-STAH-STEEL, Brüssel, Nr. 11, 1966, Seite 488.
- (12) IPE-Träger, Mittelbreite Träger nach EURONORM 19, herausgegeben von der Beratungsstelle für Stahlverwendung in Zusammenarbeit mit dem Verein Deutscher Eisenhüttenleute, 2. Auflage 1968, Verlag Stahleisen, Düsseldorf.
- (13) R-Träger, Merkblatt 358, Beratungsstelle für Stahlverwendung, Düsseldorf, 1965.
- (14) Wabenträger, Merkblatt 361, Beratungsstelle für Stahlverwendung, Düsseldorf, 1965.
- (15) Kalprofile, herausgegeben von der Beratungsstelle für Stahlverwendung in Zusammenarbeit mit dem Verein Deutscher Eisenhüttenleute, 2. Auflage 1968, Verlag Stahleisen, Düsseldorf.
- (16) Geschweißte Stahlrohrkonstruktionen, Merkblatt 224, Beratungsstelle für Stahlverwendung, Düsseldorf, 1960.
- (17) Rechteck-Hohlprofile für den Stahlbau, Merkblatt 387, Beratungsstelle für Stahlverwendung, Düsseldorf, 1967.
- (18) Makowski, Z. S., Räumliche Tragwerke aus Stahl, Verlag Stahleisen, Düsseldorf, 1963.
- (19) Odenhausen, H., Statische Grundlagen für die Anwendung von Stahldrahtseilen im Bauwesen, ACIER-STAH-STEEL, Brüssel, Nr. 2, 1965, Seite 51.
- (20) Jawerth, D. und H. Schulz, Ein Beitrag zur Frage der Eigenschaften, windanfachenden Kräfte und aerodynamischen Stabilität bei hängenden Dächern, Der Stahlbau, Berlin, 35. Jahrgang, Heft 1, Januar 1966, Seite 1.
- (21) Jawerth, D., Ein Entwurf für das Olympiastadion München, Der Stahlbau, Berlin, 36. Jahrgang, Heft 9, September 1967, Seite 268.
- (22) Gladischefaki, H., Profilierte Stahlbleche für Dach und Wand, Deutsche Bauzeitung, Stuttgart, Heft 4, April 1966, Seite 314.
- (23) Spieker, H., Versetzbare Trennwandkonstruktionen, Bauwelt, Berlin, Nr. 15/17, 1967.
- (24) Erprobt und für gut befunden: Die DLW-Dachelemente, Fertigteilbau, Oeffingen bei Stuttgart, 2. Jahrgang, Heft 6, Nov./Dez. 1967, Seite 57.
- (25) Die Korrosionsbeständigkeit feuerverzinkten Stahles, Merkblatt 400, Beratungsstelle für Stahlverwendung, Düsseldorf, 1966.
- (26) Kunststoffbeschichtetes Stahlblech, Merkblatt 325, Beratungsstelle für Stahlverwendung, Düsseldorf, 2. Auflage, 1968.
- (27) Salm, A., Ermail in der Architektur, Vortragsveröffentlichungen des Haus der Technik, Essen, 1968, Heft 174.
- (28) Odenhausen, H., Ein neues Stalprodukt: die Folie, BLECH, Coburg, Nr. 11, 1967, Seite 504.
- (29) Odenhausen, H., Der architektonische Effekt schwachlegierter wetterfester Baustähle, ACIER-STAH-STEEL, Brüssel, Nr. 10, 1965, Seite 417.
- (30) Geisler, H. und R. Moser, Fassadenelemente aus Edelstahl "rostfrei", Die Bautechnik, Berlin, 39. Jahrgang, Heft 1, Januar 1962, Seite 1.
- (31) Odenhausen, H., Aktivierung der dritten Dimension, Der Europäer, Brüssel, Nr. 72, 1966, Seite 15.

Los aceros de alta resistencia

Por R. S. BURNS,

Director Investigaciones Metalúrgicas, Investigación y Tecnología,

Armco Steel Corporation.

Resumen.

Se estudia el desarrollo y utilización de dos tipos de aceros soldables de alta resistencia: los aceros de alta resistencia, baja aleación, laminados en caliente, con un límite aparente de elasticidad mínimo de 42.000 a 65.000 psi, y los aceros al carbono y de baja aleación sometidos a tratamiento térmico, con límite aparente de elasticidad mínimo de 50.000 a 100.000 psi. Dichos aceros encuentran creciente aplicación en la construcción soldada donde se necesita resistencia y firmeza.

Los aceros de alta resistencia y baja aleación, laminados en caliente, tienen una resistencia relativamente elevada junto con diversas combinaciones de ductilidad, formabilidad, soldabilidad, tenacidad y resistencia a la corrosión atmosférica. Dichas propiedades se obtienen por lo general mediante la adición de pequeñas cantidades de elementos de aleación aparte del carbono y manganeso. Los aceros al carbono y de baja aleación sometidos a tratamiento térmico obtienen sus propiedades por normalizado o por templado y revenido, y muestran resistencias aún mayores a la vez que una excelente característica de resistencia al efecto de entalle a baja temperatura.

Cada tipo de acero permite a los proyectistas obtener una relación más favorable de resistencia y peso ante una mayor carga útil, con reducción del peso muerto o conservación del espacio libre. Estos aceros de mayor resistencia simplifican también el diseño global y permiten la realización de algunos que de otro modo no serían prácticos.

Se describen las características de estos aceros, incluso la resistencia, resistencia a la corrosión atmosférica, tenacidad, resistencia a la fatiga y soldabilidad. Se indican también las designaciones de la ASTM y las marcas comerciales que emplean los principales productores de los Estados Unidos.

Introducción.

Una de las innovaciones que introdujo la industria siderúrgica de los Estados Unidos, en el decenio de 1930, fue la invención y perfeccionamiento de los aceros de baja aleación y alta resistencia, con un límite aparente de elasticidad mínimo de 50.000 psi, destinados a la construcción civil y mecánica. El motivo de tal innovación fue el concepto de que estos aceros, sobre la base de relación entre resistencia y peso, podrían reemplazar directamente los aceros convencionales laminados en caliente, con resistencia normal (límite aparente de elas-

ticidad 30.000 psi). Tendrían también una mayor resistencia a la corrosión atmosférica y resultarían más competitivos frente al aluminio.

Los primeros aceros que se desarrollaron se clasificaron en aceros al cobre-níquel-fósforo y al cromo-silicio-cobre. Dichos elementos aumentaban la resistencia a la corrosión. Otros, como el molibdeno, manganeso, y un afinador del grano aumentaban la resistencia con una pérdida mínima de ductilidad y tenacidad.

Estos aceros se fabricaron con un máximo de 0,12 C, y se suministraban inicialmente en planchas delgadas y flejes laminados en caliente. Se soldaban en forma muy satisfactoria, aún con soldadura por puntos o de costura, y se les podía formar por doblado y embutido mediano. La aparición de estos aceros tuvo tanto éxito que muy pronto surgió la demanda de aceros al carbono que cumplieran iguales condiciones de resistencia para aplicaciones en que la resistencia a la corrosión no era un requisito esencial. Aparecieron los aceros de alta resistencia y baja aleación y los aceros de alta resistencia al carbono en planchas gruesas y perfiles, además de planchas delgadas. Hay aceros laminados en caliente que contienen columbio o vanadio con un límite aparente de elasticidad hasta de 65.000 psi.

La continuación de la investigación y el desarrollo ha dado como resultado la producción actual de aceros al carbono templados y revenidos, soldables, con un límite aparente de elasticidad mínimo hasta de 80.000 psi, y aceros de baja aleación templados y revenidos, con límite aparente de elasticidad mínimo de 100.000 psi. Dichos aceros no sólo proporcionan una mayor resistencia que los aceros laminados en caliente, sino que tienen mayor tenacidad a bajas temperaturas. Hay productos tubulares redondos y rectangulares, además de planchas gruesas y barras, con estos niveles de resistencia.

Los futuros adelantos en la construcción de estructuras soldadas verán aparecer productos con límites aparentes de elasticidad hasta de 150.000 psi dentro de unos dos años, y quizás más en cinco a diez años más. La tenacidad a baja temperatura de los aceros al carbono y de baja aleación, sometidos a tratamiento térmico, mejorarán aún más por obra de la experiencia de los ajustes en la composición química y el afino.

Igual que en muchos casos análogos, existe un delicado equilibrio entre la resistencia, por una parte, y la tenacidad y ductilidad por otra. Este fenómeno nos ha llevado a profundizar el estudio del comportamiento de las fracturas. Hemos descubierto que a medida que los niveles de resistencia suben de 100.000 psi, se necesita

una composición química más precisa y técnicas de fusión y tratamiento más rigurosas. En este momento la fusión al aire resulta satisfactoria para los niveles más elevados de resistencia en los aceros de producción comercial. Sin embargo, pronto hará falta emplear la desgasificación al vacío, la fusión al vacío y procedimientos especiales de laminación y tratamiento, para satisfacer la demanda de los consumidores que exigen mayor resistencia con tenacidad adecuada.

Utilización de los aceros de alta resistencia.

Hay evidentes ventajas en emplear aceros de alta resistencia en aplicaciones en que una mayor carga útil, la reducción del peso o la conservación del espacio son requisitos esenciales. Existen también numerosos casos de aplicaciones a baja temperatura, donde se necesitan aceros de alta resistencia, tratados térmicamente.

Además de la ventaja económica de obtener mayor resistencia por libra de acero, el empleo de aceros de alta resistencia ofrece otras ventajas al usuario. En primer lugar, permite realizar diseños que de otro modo no serían prácticos, tales como cerchas de gran luz, de cordones paralelos, o jácenas de profundidad uniforme. El diseño global se simplifica y las estructuras resultan menos complicadas. Aunque la elaboración puede aparecer más compleja debido al uso de varios tipos distintos de acero, la construcción total resulta generalmente más sencilla, porque los elementos son más livianos y se componen de menos piezas. Y como tales estructuras son más simples, aerodinámicas y menos complicadas, son también más gratas a la vista y constituyen ejemplares dignos del arte del constructor.

Hay algunas trampas que es necesario evitar cuando se proyecta con aceros de alta resistencia, y debe existir un perfecto conocimiento de dichos aceros. La estructura se diseña en forma tal que no falle de uno o más modos. El pandeo y la flecha excesiva son funciones del módulo de elasticidad, y es preciso precaverse contra ellas mediante el uso de bajas relaciones de esbeltez y altos momentos de inercia. La fatiga a menudo determina el diseño de las estructuras. Cuando hay grandes concentraciones de esfuerzo, como en las soldaduras, la resistencia a la fatiga no aumenta necesariamente en proporción al límite aparente de elasticidad del acero o a su resistencia a la tracción. Por tanto, los proyectistas deben estudiar las formas en que se pueden disponer los aceros de alta resistencia dentro de una estructura, para obtener la mayor ventaja. La resistencia al efecto de entalle es un factor importante en la selección del acero para una estructura propensa a la fractura frágil. Muchos de los aceros de alta resistencia tienen un elevado nivel de resistencia al efecto de entalle, y en el hecho resultan menos propensos a fallar por ruptura frágil que algunos aceros de menor resistencia. Pero los mayores esfuerzos que involucra el proyecto exigen una mayor resistencia al efecto de entalle.

La disponibilidad de aceros estructurales en una amplia gama de resistencia permite a los proyectistas adecuar ventajosamente la resistencia a la carga. Por ejemplo, consideremos los miembros verticales de una estructura, o los pilares de un edificio de muchos pisos. Si se usa el acero de mayor resistencia en el nivel más bajo, donde las cargas son mayores, y se emplea aceros de menor resistencia, progresivamente, hasta el nivel más alto, se pueden resistir las cargas con pilares de dimensiones uniformes, lo que da un mayor espacio utilizable en los pisos inferiores. El mismo principio se puede aplicar para reducir el peso de los miembros en compresión en la armadura de un puente, simplificar las uniones apernadas y dar un aspecto más aerodinámico a la parte visible de la estructura. Además, el concepto de la resistencia graduada de acuerdo con la sollicitación de carga se aplica a los miembros en forma de vigas, como en

los tramos de puentes, para producir jácenas de poco peso y de profundidad constante, lo que les da un mejor aspecto.

En las construcciones mixtas, los aceros de alta resistencia se colocan estratégicamente en las zonas de alta tensión, apoyados por aceros convencionales de calidad estructural. Un ejemplo sencillo lo constituyen las vigas en que las alas de alta resistencia van soldadas al alma de acero estructural. En una construcción de este tipo se podría reducir el peso hasta en 25%. Por lo general los aceros de alta resistencia se pueden soldar fácilmente con aceros estructurales comunes si se emplean procedimientos apropiados. La soldadura moderna de alta velocidad da a la construcción de este tipo un mayor atractivo económico.

Los aceros de alta resistencia de baja aleación.

Los aceros de alta resistencia de este tipo se venden por lo general en el estado en que salen del laminador. Las técnicas de acabado en laminación se han perfeccionado con el fin de producir propiedades estipuladas con una diversidad de composiciones químicas. En los Estados Unidos se producen varias calidades que involucran diversas combinaciones de resistencia mecánica, resistencia a la corrosión atmosférica y soldabilidad (véase el Anexo I). A continuación se da un resumen de las propiedades de estos aceros. Las propiedades de resistencia se dan en un mínimo de libras por pulgada cuadrada, y el alargamiento en porcentaje mínimo según la longitud correspondiente.

ASTM A242, A588 (Armco High-Strength A).

Este acero de alta resistencia, de baja aleación resistente a la corrosión, está destinado a las aplicaciones que exigen durabilidad y un mínimo de mantención, a la vez que resistencia. Se le puede soldar por todos los métodos convencionales. La resistencia a la corrosión es 4 a 6 veces la del acero al carbono.

Espesor	Límite aparente de elasticidad lb/pulg. ²	Resistencia a la tracción lb/pulg. ²	Alargamiento	
			en 2"	en 8"
Hasta 4"	50.000	70.000	24%	19%
De 8"	42.000	63.000	24%	19%

Contiene Cr, Si, Cu que le dan resistencia a la corrosión y resistencia.

ASTM A441 (Armco High Strength B).

Este acero de alta resistencia y baja aleación determina un ahorro en el costo de las estructuras soldadas por medio de la reducción en el peso. Es de menos precio que el anterior, pero la resistencia a la corrosión es sólo 2 veces la del acero al carbono.

Espesor	Límite aparente de elasticidad lb/pulg. ²	Resistencia a la tracción lb/pulg. ²	Alargamiento	
			en 2"	en 8"
Hasta 3/4"	50.000	70.000	22%	18%
De 4"	42.000	63.000	24%	16%

Nominalmente contiene 0,18% C, 1,00% Mn, con V para la resistencia y Cu para la resistencia a la corrosión.

ASTM A 572 (Armco High Strength C)

Los diversos niveles de resistencia que contiene este grupo están destinados a obtener un ahorro máximo en el costo mediante la reducción del peso, porque tienen la relación entre resistencia y precio más favorable de todas. Su resistencia a la corrosión es igual a la del acero al carbono.

Límite aparente de elasticidad lb/pulg. ²	Resistencia a la tracción lb/pulg. ²	Alargamiento	
		en 2"	en 8"
42 a 65.000	63 a 90.000	25 a 14%	20 a 14%

Este nivel de resistencia se puede ajustar según el uso final. Contiene hasta 0,26% C y 1,35% Mn, Cb y/o V para mayor resistencia.

En estos aceros la resistencia se obtiene mediante adiciones de pequeñas cantidades de elementos de aleación. Para poder alcanzar niveles de resistencia comparables sin dichos elementos de aleación, sería necesario elevar el contenido de C y Mn a niveles que perjudicarían seriamente la soldabilidad y la formabilidad.

La resistencia a la fatiga y resistencia a la abrasión que presentan todos estos aceros son mayores que en los aceros estructurales al carbono. La resistencia al efecto de entalle es por lo general mejor que en los aceros al carbono estructurales corrientes de resistencia comparable, debido al nivel más bajo de carbono y más alto de manganeso.

El mayor precio en comparación con el acero al carbono queda más que compensado, normalmente, por las reducciones de peso que se pueden obtener gracias a la mayor resistencia, y al incremento en la resistencia a la corrosión atmosférica. Con frecuencia se obtienen mayores ahorros por menores costos de embarque y transformación.

Los aceros de alta resistencia y baja aleación laminados en caliente constituyeron los primeros tipos de aceros no inoxidables cuya resistencia a la corrosión atmosférica estaba reforzada. Si bien se conocía desde algún tiempo atrás el efecto beneficioso de las pequeñas adiciones de cobre, sólo a comienzos del decenio de 1930 se tuvo información acerca de otros elementos de aleación. Los datos obtenidos demostraron que se puede alcanzar una mayor resistencia a la corrosión atmosférica mediante determinadas adiciones, hasta alcanzar una suma de 3% aproximadamente, de elementos de aleación. En los aceros de alta resistencia y baja aleación que se hicieron de este modo (ASTM A242 y A441) se formaban películas protectoras de óxido, y la pérdida de peso no aumentaba proporcionalmente al tiempo en el curso de prolongados períodos de exposición al aire.

Se puede realizar una comparación directa con los siguientes datos de exposición para períodos de 2 y 8 años, que se refieren a acero al carbono, acero con cobre y acero ASTM A242.

Ambiente		Pérdida de peso en gramos por muestra de 4" x 6"		
		Acero al carbono	Acero con cobre	A 242
Marino	8 años	109	45	16
	2 años	20	15	8
Industrial	8 años	30	19	8
	2 años	13	10	6

Estos datos indican los efectos del ambiente, del contenido de cobre y del contenido adicional de aleación. Ya a los dos años se observa una disminución en la velocidad de corrosión cuando existe cobre o elementos de

aleación. A medida que continúa la exposición al ambiente la disminución en la corrosión es más impresionante.

Los datos relacionados con los efectos beneficiosos del cobre, cromo, fósforo y silicio se aplican sólo a la corrosión atmosférica, y únicamente cuando el material queda completamente expuesto. En lugares protegidos las diferencias son mucho menos pronunciadas. En los resquicios, como ser en el traslado de los techos o en las uniones fuertemente apernadas, virtualmente no hay diferencia entre las tasas relativas de corrosión. Los proyectistas deben evitar en lo posible las aplicaciones de este tipo. En ambientes como los de agua dulce, agua salada y bajo tierra, las pequeñas cantidades de elementos de aleación que están presentes en los aceros de alta resistencia y baja aleación tienen poco valor para mejorar la resistencia a la corrosión.

Los recubrimientos de pintura duran más en los aceros de alta resistencia y baja aleación, como el A242 y el A441, que en los aceros al carbono. El óxido que se forma debajo de la película de pintura es menos voluminoso en los aceros de baja aleación, por tanto hay menos ruptura de la película de pintura, lo que permitiría una mayor corrosión. A continuación se da una lista de algunas aplicaciones adecuadas para los aceros de alta resistencia y baja aleación.

Equipos móviles.

Carros de f.c. (bastidores inferiores y costados), camiones, remolques, tractores, buses, grúas, maquinaria agrícola, barcas, cascos de barcos, camiones estanque y carros estanque, carros de mina, parachoques de automóviles.

Estructuras.

Puentes (véase Anexo III, figura 5), construcción, torres de transmisión (véase Anexo III, figura 6), ferretería para postaciones, grúas fijas, chimeneas, postes de señalización, cilindros para gases licuados de petróleo.

Aceros al carbono sometidos a tratamiento térmico

A comienzos del decenio de 1950 los aceros de alta resistencia y baja aleación ya estaban bien establecidos. Desde entonces, los adelantos técnicos permitieron aumentar la resistencia y la capacidad del espesor hasta un límite aparente de elasticidad mínimo de 60.000 psi en espesores hasta de 2". Provocando la formación de carburo de vanadio y de columbio, y la precipitación de los nitruros, se ha elevado el límite aparente de elasticidad a 65.000 psi, pero en una gama restringida de espesores.

Pronto se vio que estos aceros no satisfacían los requisitos de resistencia al impacto a bajas temperaturas (hasta de - 20°F). Se necesitaban también aceros con mayor tenacidad y mayor resistencia que estos aceros laminados en caliente. Ello condujo al desarrollo de planchas de acero con tratamiento térmico, que fue posible debido a numerosos descubrimientos e innovaciones:

- 1) Un dispositivo para endurecer las planchas gruesas de acero sin perjudicar sus condiciones de aplanado;
- 2) esclarecimiento de las propiedades de la martensita y bainita en aceros de bajo carbono;
- 3) identificación de los efectos perjudiciales del hidrógeno en la soldadura, y de los métodos para eliminar el hidrógeno;
- 4) adelantos en el análisis de fractura; y
- 5) una mejor comprensión de la fatiga de las ensambladuras soldadas.

Entre las categorías nuevas se cuentan los aceros al carbono sometidos a tratamiento térmico y soldables. (Véase Anexo I). Los aceros de este tipo tienen por lo general un máximo de 0,20% de carbono, y manganeso entre 1,00 y 1,60%. Están calmados con silicio y se pue-

de agregar cobre para mejorar la resistencia a la corrosión. Es posible que contengan cantidades residuales de Cr, Ni y MO, debido al tipo de chatarra empleada, y se puede agregar boro para aumentar la templabilidad. Los aceros que se incluyen en esta categoría general tienen las siguientes propiedades:

Designación ASTM	Espesor de la plancha	Límite aparente de elasticidad lbs/pulg. ²	Resistencia a la tracción lbs/pulg. ²	Alargamiento en 2"
A537 Clase A (Normalizado)	hasta 1 1/4" en 2"	50.000 min. 46.000 min.	70.000/85.000 65.000/80.000	22% 22%
A537 Clase B (Templado y revenido)	hasta 1 1/4" en 2"	60.000 min. 56.000 min.	80.000/100.000 75.000/95.000	22% —
Ninguna * (Templado y revenido)	hasta 3/4" en 1 1/4"	80.000 min. 70.000 min.	100.000/120.00 90.000/110.000	20% 18%

* Armco Steel QTC.

Estos aceros se fabrican con prácticas de acería estrechamente controladas y tratamiento térmico muy preciso. De este modo proporcionan una combinación especial de propiedades: excelente tenacidad y buena soldabilidad. Para asegurar la resistencia al efecto de entalle se les produce con grano fino.

Los proyectistas de plataformas de perforación destinadas a funciones frente a la costa fueron los primeros en utilizar las propiedades únicas de estos aceros. Se especificó el acero de Clase B (ASTM A537) para los soportes de las plataformas de perforación y producción que se instalaron en las heladas aguas frente a Alaska donde era esencial la máxima tenacidad a tales temperaturas (Véase Anexo III, Fig. 7).

El acero ASTM A537 Clase A, se está empleando en una serie de barcos mercantes nuevos que se construyen junto con diversos aceros de alta resistencia y especiales. Debido a su mayor resistencia al efecto de entalle no es necesario realizar costuras remachadas para detener las grietas.

Otra aplicación muy extendida de estos aceros es el almacenamiento, a baja temperatura, de gases licuados. El butano licuado a 30°F, el amoníaco anhidro a -28°F, el propano a -44°F, y el propileno a -53°F exigen tanques de almacenamiento de un material cuyas propiedades de tenacidad sean similares a los aceros de la norma A537 grados A y B. Los mismos aceros se han empleado en la fabricación de recipientes de presión e intercambiadores de calor utilizados en plantas de beneficio de gases donde se trabaja con temperaturas bajas.

No todas las aplicaciones de estos aceros especiales tienen lugar a bajas temperaturas. Un arado vibratorio recién perfeccionado, que proporciona a los agricultores una manera de obtener una penetración más profunda en el terreno que la que se puede efectuar con los arados agrícolas corrientes, tiene las puntas de acero grado A de la norma ASTM A537.

Dichas partes necesitan la resistencia y tenacidad suficientes para hendir la tierra hasta más de 12 pulgadas de profundidad, a 6 millas por hora.

El acero QTC de Armco, del tipo de límite aparente de elasticidad de 80.000 lbs/pulg.² es nuevo. Su primera aplicación se realizó en instalaciones móviles de exploración frente a la costa y en una plataforma de perforación para el Mar del Norte. En esta última aplicación tiene más importancia la mayor resistencia que propor-

ciona el QTC y no se necesita la mayor tenacidad del acero Clase B (ASTM A537). Se esperan muchas otras aplicaciones.

Los aceros de aleación templados y revenidos.

Otra categoría de los nuevos aceros para planchas sometidos a tratamiento térmico, es la de los aceros solubles de baja aleación, templados y revenidos, cuyo límite aparente de elasticidad mínimo es de 100.000 lbs/pulg.². Estos aceros están firmemente establecidos en proyectos, ingeniería y construcción, y han demostrado su superioridad en una lista siempre creciente de usos. Proporcionan alta resistencia, excepcional resistencia al efecto de entalle y buena soldabilidad, además de una excelente resistencia a la corrosión atmosférica, por medio de una equilibrada composición de la aleación, y de un adecuado tratamiento térmico de temple y revenido. (Véase el Anexo I).

Estos aceros se fabrican normalmente según las especificaciones ASTM A514 y A517 y las propiedades mecánicas finales para diversos espesores se obtienen mediante pequeños ajustes en la composición química. En la especificación A514 y A517 se incluye la serie de aceros SSS 100 de Armco, los que se producen con las siguientes composiciones (% peso).

	C	Mn	Si	Cr	Mo	Ti o V	B	Cu
Mínimo	.12	.40	.20	.85	.15	.014	.0015	.20
Máximo	.20	.70	.35	2.0	.60	.10	.005	.40

Estas composiciones químicas son bastantes amplias y permiten ajustar el acero a las necesidades individuales del cliente. Para satisfacer las condiciones necesarias en una estructura con un espesor determinado se puede obtener cualquier combinación de propiedades mecánicas. Las propiedades de tracción de los aceros de la serie SSS 100 son las siguientes:

Espesor de la plancha	Límite aparente de elasticidad lbs/pulg. ²	Resistencia a la tracción lbs/pulg. ²	% alargamiento en 2"
Hasta 4"	100.000 mín.	115.000/135.000	18 mín.
De 6"	90.000 mín.	105.000/135.000	16 mín.

Son típicos los valores del límite aparente de elasticidad entre 110.000 y 118.000 lbs/pulg.² hasta 4" de espesor, y 93.000 a 96.000 psi entre 4" y 6" de espesor.

La resistencia extremadamente elevada de la serie SSS 100 significa una economía en muchos tipos de estructura: puentes, maquinarias, recipientes de presión y equipos de transporte. Su favorable combinación de resistencia y peso proporciona una gran oportunidad para ahorrar. Por ejemplo, se puede recortar el peso muerto en 50% o más conservando la resistencia estructural necesaria.

Ofrece muchas ventajas un proyecto liviano, capaz de absorber grandes esfuerzos de tracción, compresión y flexión. La resistencia a la abrasión y la capacidad para resistir cargas repentinas permiten también que los productos terminados sean de mayor provecho debido a una mayor capacidad de resistencia y una vida útil más prolongada.

Para puentes se puede especificar los aceros de la serie SSS 100 en aquellas partes de la estructura que más se beneficien por la combinación económica de poco peso y resistencia a la tracción y compresión. (Véase Anexo III, Fig. 9). Las torres se pueden proyectar con la combinación más favorable de masa mínima, resistencia estruc-

trural y resistencia a la carga por el viento. Las tuberías de presión se pueden fabricar e instalar con considerables ahorros en el costo de los materiales, soldadura e instalación.

Las máquinas para movimiento de tierra, que preparan el camino a la construcción, también pueden aprovechar las ventajas especiales que proporcionan los aceros SSS 100. Los impactos, la abrasión y las cargas súbitas, a menudo a temperaturas muy bajas, exigen que los materiales que se emplean en palas y cucharones, transportadores de tierra, palas de arrastre y similares sean especialmente fuertes y durables.

Los equipos industriales y mineros: carros, cargadores, tolvas, canales, camiones, cables de arrastre, necesitan tener una combinación de resistencia, durabilidad y tenacidad tanto a altas como a bajas temperaturas. La abrasión sola puede reducir la vida de las piezas, drásticamente, a unas pocas semanas. Aquí también la fuerte resistencia a la abrasión y la capacidad para resistir los impactos hacen, a menudo, que estos aceros sean la elección más económica.

Los recipientes y tanques de presión constituyen casos ideales donde disminuir la masa, reducir los costos de construcción y aumentar la resistencia mediante el empleo de estos aceros de aleación (Véase Anexo III, Fig. 8). Las mismas ventajas se presentan en los equipos de transporte, desde camiones estanco hasta barcos, y en los equipos para la producción y refinación de gas y petróleo, donde el peso muerto mínimo es de mucha importancia.

La resistencia al efecto de entalle.

La mayoría de las estructuras contienen zonas o puntos en que hay concentración de los esfuerzos que causan las entalladuras originadas por fallas en el proyecto y/o construcción. Bajo carga estas zonas de esfuerzo constituyen puntos propicios para la iniciación y propagación de fracturas dúctiles o frágiles. La propagación de fracturas frágiles puede determinar una falla catastrófica. Conviene destacar que últimamente se ha adelantado mucho con el microscopio electrónico en el estudio de la superficie de las fracturas para determinar el tipo de las fallas. Este procedimiento se llama Microfractografía Electrónica y está descrito en el Anexo II.

El modo de la fractura del acero ferrítico con entalladura se encuentra afectado en gran medida por la temperatura: el modo frágil se presenta a una temperatura inferior. Por tanto, (temperatura denominada de transición) en los materiales destinados a estructuras expuestas a baja temperatura se especifican frecuentemente requisitos de resistencia al efecto de entalle. En general, los aceros de alta resistencia y baja aleación que se entregan laminados en caliente carecen de una tenacidad notable y no se usan a bajas temperaturas. Una de las grandes ventajas de los aceros al carbono y de aleación sometidos a tratamiento térmico es su mayor tenacidad. El ensayo Charpy de impacto con entalladura en V, Norma ASTM E 23-64, representa un criterio de protección contra la fractura frágil. Los valores mínimos y típicos del ensayo de impacto o de choque en los aceros sometidos a tratamiento térmico son los siguientes:

Otro tipo de ensayo de resistencia al efecto de entalle que se está aceptando extensamente es el ensayo de péndulo que debe determinar la temperatura de transición de ductilidad nula (NDT). El ensayo se encuentra descrito en el ASTM Tentative Method E 208-66T, y establece la temperatura a la cual o bajo la cual un material fallará en forma frágil bajo carga de tensión, en presencia de una pequeña grieta o entalladura. A una temperatura baja dada, el tamaño y agudeza de la falla determinan el nivel de tensión que se necesita para que se inicie la fractura de tipo frágil.

A continuación se indican diversas temperaturas de transición típicas, según distintos espesores de los aceros sometidos a tratamiento térmico. Dichos valores quedan muy por debajo de las temperaturas de servicio que se esperan de las plataformas de perforación instaladas frente a la costa, y son ilustrativas de la buena resistencia al efecto de entalle que poseen estos aceros y también de que son adecuados para esta aplicación.

Datos sobre temperatura de transición

Designación ASTM	Aceros Armco	Espesor de la plancha pulgadas	Temperatura de transición típica, °F
A537 Gr A	Lo Temp	1	—60
A537 Gr B	Super-Lo Temp	3/4	—75
—	QTC	5/8	—60
		1—1/4	—50
A514 Gr E	SSS 100	7/8	—60
A517 Gr E		2—1/2	—60
A514 Gr D	SS 100A	7/8	—60
A517 Gr D		1—1/4	—60

Fatiga.

Muchas de las aplicaciones de los aceros estructurales se refieren a estructuras sometidas a carga dinámica en que la resistencia a los esfuerzos repetidos se convierte en condición importante del proyecto. Los límites de resistencia que se han obtenido en ensayos de fatiga con viga giratoria, realizados en pequeñas probetas pulidas, indican que la resistencia a los esfuerzos repetidos de cada uno de los aceros que se han estudiado equivale aproximadamente a 55% de la resistencia a la tracción.

Sin embargo, para el proyectista, se obtienen datos de fatiga más significativos con los ensayos realizados en grandes probetas de planchas, con superficie tal como sale de laminación, o con uniones soldadas. El cuadro siguiente señala las relaciones de resistencia al esfuerzo repetido, en diversos aceros, basados en ensayos axiales en planchas de 12" x 48" y de diversos espesores. La sección central de la probeta se reduce a 4" de ancho mediante el corte de radios de 12" en cada borde de la plancha.

Datos de ensayo Charpy

Designación ASTM	Aceros Armco	Espesor de la plancha pulgadas	Resultados típicos	
			Energía del impacto Charpy Ft-lbs	°F
A537 GR A	Lo Temp.	1	25 @ —60	20 @ —60
A537 GR B	Super Lo Temp	3/4	45 @ —75	25 @ —75
—	QTC	5/8	64 @ 0	35 @ 0
		1-1/4	38 @ 0	42 @ 0
A514 GR E	SSS 100	7/8	39 @ —50	32 @ —50
A517 GR E		2-1/2	56 @ —50	29 @ —50
A514 GR D	SSS 100A	3/4	37 @ —50	32 @ —50
A517 GR D		1-1/4	35 @ —50	19 @ —50

Resistencia a la fatiga probetas grandes, de planchas

Resistencia a la fatiga, lbs/pulg.2					
2.000.000 de ciclos			100.000 ciclos		
Acero	Liso	Soldado de tope	Liso	Soldado de tope	
ASTM	Armco	Razón de tensión mín. a máx. = 0			
A 36		32.000	19.000	36.000	36.000
A537 Grado A	(Lo-Temp)	46.000	22.000	50.000	50.000
A537 Grado B	(Super-Lo-Temp)	51.000	31.000	60.000	57.000
—	QTC	57.500	26.000	80.000	51.000
A514 Grado E	SSS 100	62.500	27.000	83.000	55.000
A517 Grado E					
Razón de tensión mín. a máx. = 1/2					
A 36		36.000	30.000	36.000	36.000
A537 Grado A	(Lo-Temp)	50.000	41.000	50.000	50.000
A537 Grado B	(Super-Lo-Temp)	60.000	53.000	60.000	60.000
—	QTC	80.000	43.000	80.000	80.000
A514 Grado D	SSS 100	95.000	36.000	100.000	90.000
A517 Grado D					

Después de 2.000.000 de ciclos a una tensión que varía entre 0 y un esfuerzo de tensión máximo especificado (que se llama razón de tensión 0), las probetas de planchas lisas (es decir, sin soldadura), con la superficie tal como sale de laminación, muestran resistencias a la fatiga más altas a medida que aumenta el límite aparente de elasticidad. Esta ventaja aumenta cuando la razón de tensión mínima a máxima sube a 1/2 (la tensión varía entre 1/2 del máximo y el máximo). Cuando la probeta tiene soldaduras de tope, la ventaja de la resistencia a la fatiga de los aceros con límite aparente de elasticidad más alto disminuye bruscamente, debido a la concentración de tensión en el borde de la soldadura. Pero los ensayos han demostrado que si se rebaja el cordón de refuerzo de la soldadura de tope para que ésta quede al ras del metal, la resistencia a la fatiga de las probetas de planchas se puede recuperar hasta aproximadamente el 80% de su valor en las planchas lisas. Se puede aplicar este procedimiento para mejorar la calidad de las uniones críticas.

La resistencia a la fatiga después de solamente 100.000 ciclos de tensión resulta notablemente más alta en las planchas lisas y soldadas de tope, tanto con razón de tensión 0 como 1/2. Con la razón de tensión más alta la resistencia a la fatiga se acerca al límite aparente de elasticidad de cada uno de los aceros sometidos al ensayo. Esta resistencia a la fatiga con menos número de ciclos se puede aprovechar ventajosamente donde la vida que se espera de un miembro estructural no excede los 100.000 ciclos, como por ejemplo la carga de hielo debida a la acción de las mareas sobre un soporte de plataforma situada frente a la costa.

Soldabilidad.

Los sistemas de soldadura de estos aceros de alta resistencia se pueden dividir en dos categorías: una con los aceros de alta resistencia, baja aleación, laminados en caliente, cuyo límite aparente de elasticidad es de 42.000 a 65.000 psi, donde la resistencia al efecto de entalle no constituye una consideración importante; y otra con los aceros al carbono y de baja aleación sometidos a tratamiento térmico.

En cuarto grupo, los aceros laminados en caliente que tienen un límite aparente de elasticidad hasta de 60.000 psi muestran una soldabilidad excelente. En los aceros de alta resistencia y baja aleación se pueden emplear cualesquiera de los procedimientos de soldadura al arco, gas y resistencia que normalmente se usan para los aceros al carbono. Sin embargo, los sistemas de soldadura se deben adaptar a

la resistencia del acero, al espesor de los perfiles y al tipo de uniones que se empleen. El pre o postcalentamiento es innecesario, salvo que el espesor sea superior a 1/2" o que las uniones tengan una rigidez considerable. Se pueden usar procedimientos de soldadura de bajo hidrógeno para reducir la necesidad de precalentar. Cuando resulta recomendable el precalentamiento, normalmente bastan las temperaturas modestas de sólo 200 a 300°F. No se tropieza con ningún problema especial en la elección de electrodos o varillas de soldadura para efectuar soldaduras cuya resistencia mecánica y resistencia a la corrosión sean comparables. Con un límite aparente de elasticidad de 60.000 psi o más, como en el ASTM A572 (Armco High-Strength C) la soldadura puede necesitar el precalentamiento o el uso de sistemas de soldadura de bajo hidrógeno en toda la gama de espesores.

Los procedimientos de soldadura para los aceros al carbono y de aleación con límite aparente de elasticidad entre 50.000 y 100.000 lbs/pulg.2 exigen tomar en cuenta los requisitos de resistencia y tenacidad de la zona soldada. En la soldadura de estos aceros hay que observar tres precauciones:

1. Reducir al mínimo la captación de hidrógeno del metal de aporte y su difusión dentro de la zona del metal base afectada por el calor, para reducir la posibilidad de grietas. Por tanto, es preciso emplear electrodos de bajo hidrógeno para la soldadura manual y fundentes apropiados para la soldadura por arco sumergido. Las planchas y los materiales de soldar deben estar secos.
2. El precalentamiento de grandes perfiles o secciones que están sometidas a una rigidez elevada puede ser necesario para evitar las grietas. Pero las temperaturas de precalentamiento no deben exceder las que se sugieren en las instrucciones relativas a los correspondientes tipos de acero. Las temperaturas máximas entre 350 y 500°F sirven para evitar las grietas sin afectar adversamente la resistencia ni la tenacidad.
3. El enfriamiento del metal base después de soldar no debe realizarse con excesiva lentitud, porque el enfriamiento lento puede crear, en la zona afectada por el calor, microestructuras con escasa resistencia y tenacidad. Para la soldadura en varias pasadas la temperatura entre cada pasada debe mantenerse normalmente en 300°F como máximo, aproximadamente, pero se la puede ajustar hacia arriba si las partes tienen gran rigidez de fijación elevada.

Después de soldar, se debe calentar a cierta temperatura para eliminar tensiones sin que se presente pérdida de resistencia ni tenacidad. Las temperaturas para eliminar tensiones deben ser de 1100 a 1200°F, como máximo, para el acero normalizado ASTM A537 Grado A, y 1100°F, como máximo, para el acero templado y revenido ASTM A537 Grado B, Armco QTC y ASTM A514, y A517. Si se emplea la eliminación de tensiones, debe evitarse el uso del metal de aporte que contenga vanadio, porque ese elemento tiende a producir endurecimiento secundario y una marcada reducción en la tenacidad de la soldadura.

Estos aceros se pueden soldar con diversos procedimientos empleados normalmente y caracterizados por mantener un buen nivel de tenacidad en la unión soldada en los aceros al carbono y de aleación. Se puede obtener fácilmente de electrodos cubiertos, alambres compuestos o tubulares con núcleo fundente, alambre desnudo de soldar, fundentes granulares y gases de protección, para unir estos aceros mediante los procedimientos de arco metálico protegido, arco sumergido, y arco metálico y gas.

Los futuros aceros de alta resistencia.

En los Estados Unidos se está trabajando para perfeccionar aceros de alta resistencia soldables con un límite aparente de elasticidad de 125.000 a 150.000 psi, y con buena resistencia al efecto de entalle. Se siguen diversos caminos para alcanzar estas metas, en especial en materia de afino y tratamiento.

En primer lugar, los elementos que constituyen impurezas, tales como el fósforo, azufre, arsénico, antimonio, oxígeno y nitrógeno, deben mantenerse al nivel más bajo posible. El azufre, en particular, tiene un efecto muy perjudicial sobre la tenacidad, y los aceros con un mayor límite aparente de elasticidad deben contener un máximo de 0,010%, o menos. La fusión al vacío o la desgasificación al vacío son esenciales para disminuir las cantidades de hidrógeno, oxígeno e inclusiones no metálicas presentes, lo que da como resultado un acero más limpio. También se aplica la laminación transversal para obtener una tenacidad transversal aceptable en estos aceros. Tiene importancia, además, producir el grano más fino posible.

Para aumentar la resistencia del metal base se necesita tomar muy en cuenta diversos aspectos de la soldabilidad, tales como la tendencia a agrietarse durante la operación

de soldar, y las propiedades de la unión soldada terminada. El estudio del metal depositado es necesario, a menudo, como parte del perfeccionamiento de un nuevo acero de alta resistencia, por la necesidad de obtener uniones que tengan iguales características que el propio acero. Se está investigando el metal de soldadura para descubrir relaciones entre su composición, su microestructura, velocidad de enfriamiento y propiedades mecánicas. No es raro encontrar que sólo se puede obtener un metal de soldadura de similitud óptima modificando la composición del metal base.

Dentro de los próximos años debería ser posible encontrar en el comercio aceros soldables de alta resistencia y metales de soldadura comparables, con un límite aparente de elasticidad muy superior a las 100.000 lbs/pulg.²

ANEXO I

Aceros de alta resistencia para construcciones soldadas.

Tipo	Norma ASTM	Límite aparente de elasticidad mínimo, lbs/pulg. ²	Marcas comerciales de diversos productores
Aceros de alta resistencia y baja aleación	A242, A588	50.000 hasta 4"	Armco High-Strength A, Cor-Ten A, Cor-Ten A & B, Hi-Steel, Yaloy HS, Mayari R
	A441	50.000 hasta 3/4"	Armco High-Strength B, Tri-Ten, Tri Steel, YSW A441, Mn V A441
	A572	42.000 hasta 8"	Armco High-Strength C42, Ex-Ten, INX-42, YSW-42 V-42
	"	45.000 hasta 2"	Armco High-Strength C45, Ex Ten 45, INX-45, YSW-45, V-45
	"	50.000 hasta 2"	Armco High-Strength C50, Ex Ten 50, INX-50, YSW-50, V-50
	"	55.000 hasta 1 1/2"	Armco High-Strength C55, Ex-Ten 55, INX-55, YSW-55, V-55
	"	60.000 hasta 1"	Armco High-Strength C60, Ex-Ten 60, INX-60, YSW-60, V-60
Aceros al carbono con tratamiento térmico	A537-Gr A	65.000 hasta 3/4"	Armco High-Strength C65, Ex-Ten 65, INX-65, YSW-65, V-65
	A537-Gr B	50.000 hasta 3/4"	Armco Lo-Temp, Char-Pac N, LT-75N, RQC-60 (normalizado)
		60.000 hasta 3/4"	Armco Super-Lo-Temp, Char-Pac QT, LT-75QT, RQC-60 (templado y revenido)
Aceros de baja aleación templados y revenidos.		80.000 hasta 3/4"	Armco QTC, Con-Pac, Lukens 80
	A514	100.000 hasta 2 1/2"	SSS 100, T-1, N-A-XTRA 100, Jalloj-S-100
	A517	90.000 hasta 4"	SSS 100, T-1, N-A-XTRA 100, Jalloj-S-100
	A514	100.000 hasta 1 1/4"	SSS 100A, T-1, Type A, RQ-100A
	A517	100.000 hasta 1 1/4"	SSS 100A, T-1 Type A, RQ-100A
	A514	100.000 hasta 2"	SSS 100B, T-1 Type B, RQ-100B
	A517	100.000 hasta 2"	SS 100B, T-1 Type B, RQ-100B.

ANEXO II

Microfractografía electrónica de los aceros de alta resistencia

Se está conociendo la "estructura de la falla" por medio del examen de las fracturas con el microscopio electrónico. Ahora, a posteriori, por lo menos, podemos saber cuál es la manera como el metal falló, y por tanto podemos mejorar nuestra comprensión de las necesidades

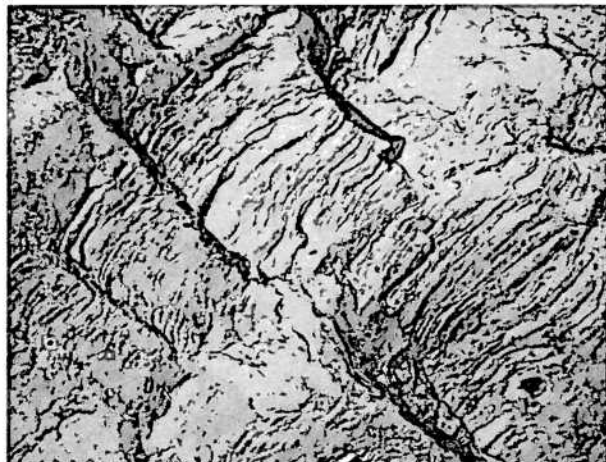


Figura 1 — Fractura dinámica.

Las fracturas que se producen bajo carga dinámica se identifican por la aparición de estrías de fatiga normales a la dirección de la propagación de la grieta.

del proyecto. Las cuatro fractografías que se ven en las Figs. 1 a 4 ilustran los modos comunes de falla del metal. Las fractografías se obtuvieron de copias positivas al carbón y se reprodujeron a 6500X.



Figura 2 — Fractura estática.

La fractura dúctil, en una deformación plástica uniforme en el sentido de la tensión aplicada, exhibe rupturas redondas uniformes en forma de hoyuelos.

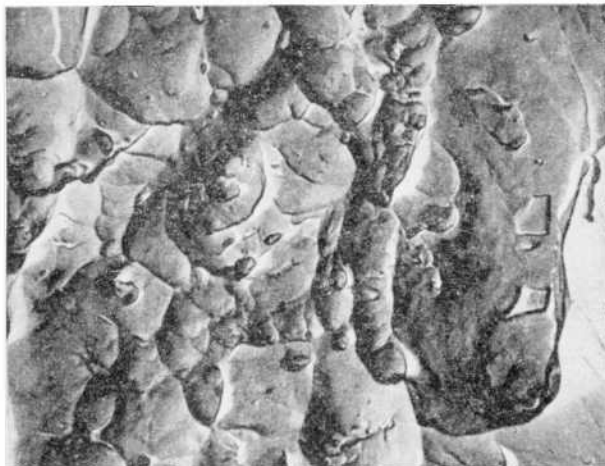


Figura 3 — Fractura estática.

La fractura dúctil, en presencia de una componente de cizallamiento, como en los bordes de corte de una probeta de tracción, produce rupturas en forma de hoyuelos alargados.

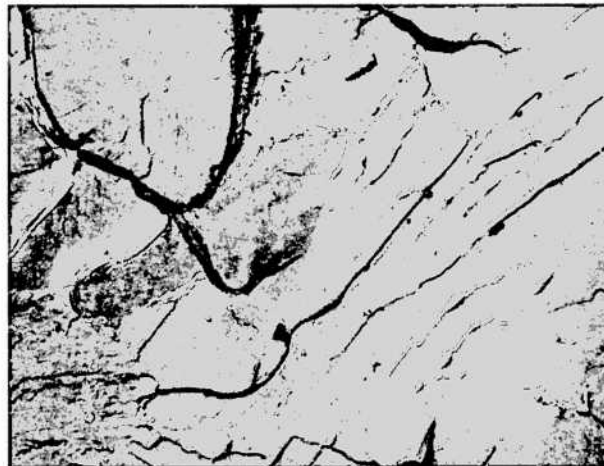


Figura 4 — Fractura de tipo.

La fractura consiste en facetas planas que contienen estrías o líneas; se la encuentra a menudo en el acero templado y revenido. Las condiciones que determinan la fractura de tipo frágil son la temperatura baja, elevada tasa de tracción y fuerte concentración de tensiones.

ANEXO III

En las Figuras 5 a 9 se ven ejemplos de aplicaciones de algunos aceros de alta resistencia que se estudiaron en este trabajo.

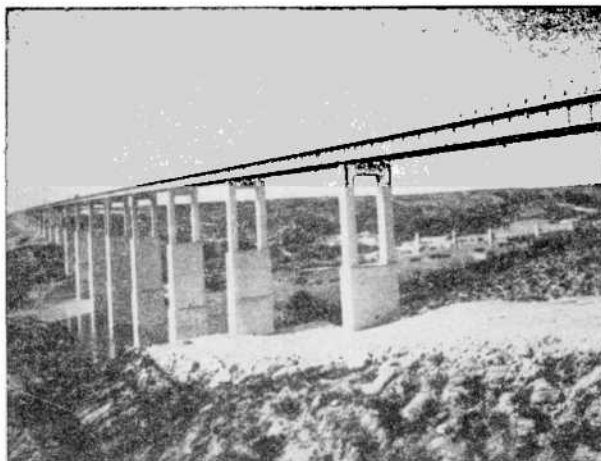
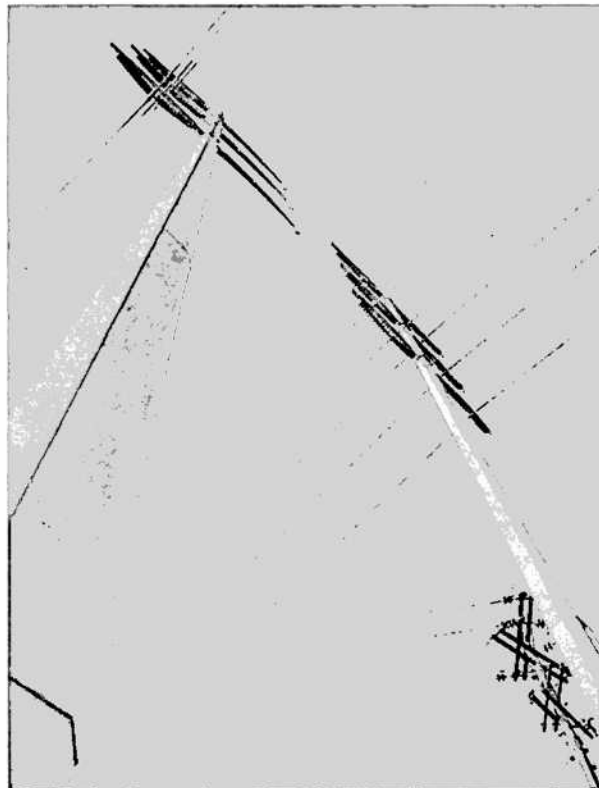


Figura 5 — Acero ASTM A441.

Puente carretero de acero High-Strength B en el sudoeste de los Estados Unidos. Esta aplicación tuvo como resultado una notable disminución en el peso de la estructura.

Figura 6 — Acero ASTM A242.

Torres para líneas de transmisión eléctrica, de acero High-Strength C. Este acero ofrece la mejor relación entre resistencia y costo, de todos los aceros de alta resistencia y baja aleación, laminados en caliente.



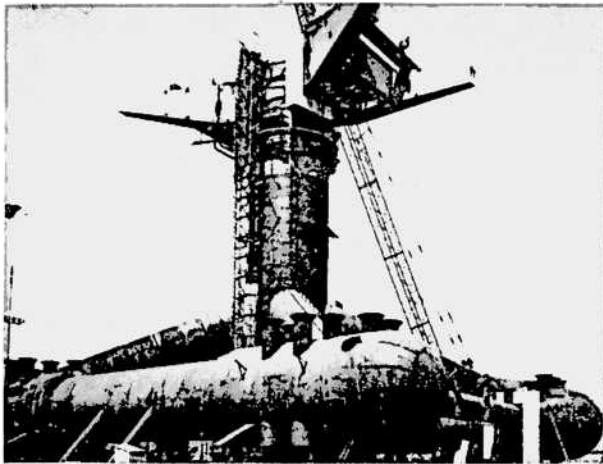


Figura 7 — Acero ASTM A537 Grado B.

Construcción de una plataforma para perforación petrolífera, de acero SSS 100. Esta plataforma se instalará en aguas heladas frente a Alaska, donde se necesita que el acero al carbono templado y revenido tenga una tenacidad excelente.

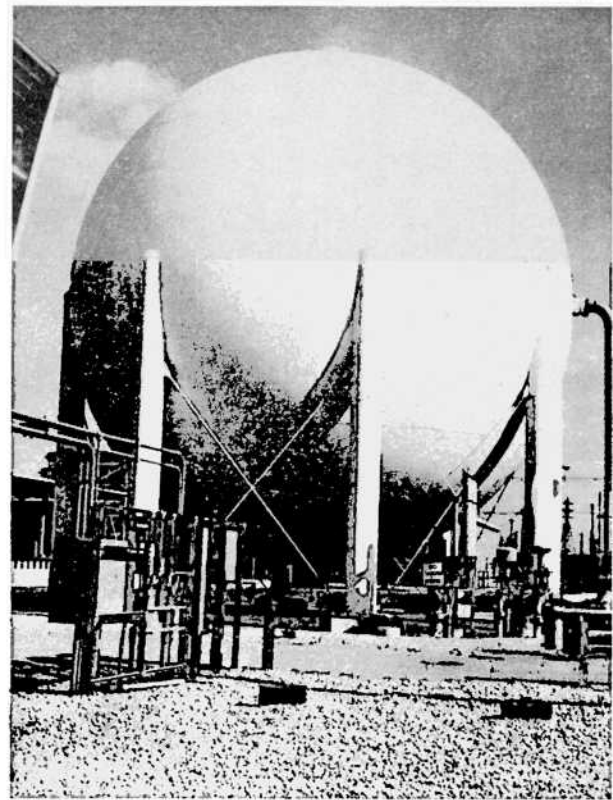
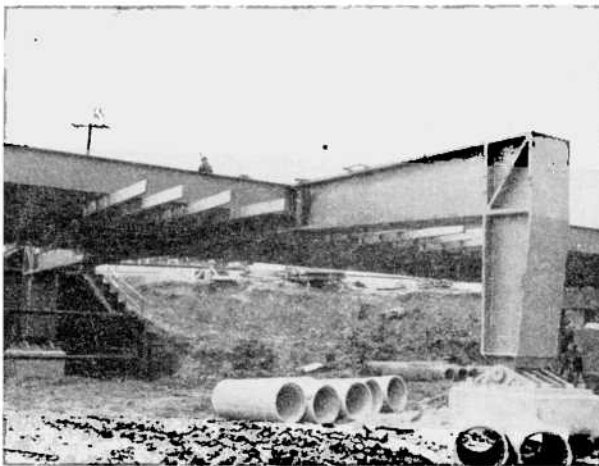


Figura 8 — Acero ASTM A517.

Tanque de 400.000 pies cúbicos para almacenamiento de gas oxígeno, hecho de acero SSS 100. Este recipiente de presión necesita la alta resistencia y excelente tenacidad del acero de baja aleación templado y revenido, para almacenar este gas a temperatura ambiente, a una presión de 410 lbs/pulg.²

Figura 9 — Acero ASTM A514.

Puente de paso sobre nivel hecho de acero SSS 100 soldado. El espesor de las planchas varía entre 1 a 3 1/2" y los cordones de refuerzo de las soldaduras se rebajaron al ras, para aumentar la resistencia a la fatiga. Fue necesario emplear este acero de alta resistencia para construir la estructura de 91' 10" que debía pasar por encima del cruce de carretera.

El acero para la industria mecánica

por Eduardo R. Abril

INTRODUCCION

La elección de los aceros destinados a las distintas aplicaciones de la industria mecánica, así como la elección de las firmas proveedoras de los mismos, representa un problema que, como cualquier otro problema de ingeniería, es de carácter técnico-económico y cuya solución consiste en lograr resultados técnicos aceptables al más bajo costo posible.

Cuando los resultados técnicos de un problema de ingeniería son adecuadamente previsibles, el criterio mencionado resulta fácilmente aplicable. Pero esto no sucede en el caso de la utilización del acero en la industria mecánica, debido a que, a pesar de haberse trabajado tanto y durante tanto tiempo con él, son muchas las cosas que desconocemos acerca del acero y que tienen, sin embargo, una gran importancia en su aplicación.

Entre las cosas que no sabemos acerca del acero figuran las respuestas a las siguientes preguntas:

¿Qué influencia tiene la presencia en el acero de muy pequeñas cantidades de elementos extraños?

¿Cómo influyen los elementos de aleación en la templeabilidad de los aceros y por qué los coeficientes empíricos de influencia de cada elemento varían tanto de un acero a otro?

¿Por qué el tamaño de grano influye en la resistencia mecánica, en la templeabilidad, en la facilidad de mecanización y en la fragilización del acero?

¿De qué depende la sensibilidad de los aceros a la formación de estructuras en banda y de estructuras de Windmangarten?

¿Qué otros factores, aparte del tamaño de grano, influyen en la tendencia fragilizante de los aceros?

¿Cuáles mecanismos actúan en la formación de inclusiones en el acero, y cómo puede lograrse una económica reducción de su contenido?

¿Cómo puede valorarse de un modo adecuado el contenido de inclusiones de un acero y su peligrosidad?

En esta exposición, al detallar los factores que pueden afectar a los aceros que se usan en la industria mecánica, vamos a analizar el estado actual de algunos de estos problemas, y el modo de reducir el riesgo por ellos involucrado.

Si bien las dudas que tenemos acerca del comportamiento del acero no crean problemas fundamentales en la mayor parte de las aplicaciones corrientes, sí los crean en aplicaciones especiales, donde las consecuencias de nuestro desconocimiento pueden ser importantes. En esos casos pue-

de llegar a resultar imprescindible la utilización de aceros de un mismo origen, una vez que se haya verificado estadísticamente el adecuado comportamiento de los mismos.

Las aplicaciones en las que estas precauciones deben ser tenidas en cuenta, son cada vez más numerosas. Se relacionan fundamentalmente con piezas en las que se debe:

- Mantener un mínimo de distorsión después de los tratamientos térmicos.
- Lograr una adecuada facilidad de mecanización en operaciones particularmente difíciles.
- Permitir el forjado sin agrietamientos, aún a temperaturas relativamente elevadas, que pueden ser requeridas por razones especiales.
- Conseguir confiabilidad en las características mecánicas de piezas de importancia fundamental.

La gran influencia que la calidad del acero tiene en la industria mecánica exige que este material se controle rigurosamente mediante la aplicación de especificaciones bien estudiadas.

Debe, sin embargo, entenderse que la correcta aplicación de estas especificaciones no es suficiente para asegurar una calidad adecuada, dado que las especificaciones no pueden medir la influencia de factores desconocidos como los que hemos mencionado, y además por que ellas no permiten asegurar una adecuada uniformidad de las características especificadas. En efecto, no es posible esperar que, con los resultados de unas pocas probetas de ensayos mecánicos, químicos y metalográficos, pueda determinarse que una colada, que puede llegar a ser de 100 toneladas o más, presente características uniformes en todos los productos obtenidos de la misma. Si las coladas son pequeñas, el problema de la falta de uniformidad por colada puede ser menor, pero el costo de control se incrementa notablemente para un mismo tipo de riesgo.

El hecho de que las especificaciones técnicas sean necesarias pero no suficientes para determinar el material que se desea, conduce a la necesidad de establecer contactos entre el usuario y el productor para que éste pueda conocer cuáles son las exigencias que se esperan del material, y para que el usuario conozca las posibilidades que el productor tiene de satisfacerlas. Ello puede conducir a soluciones específicas que, si bien pueden aparecer como más costosas por el hecho de tenerse a veces que elaborar un material especial, resultarán a la larga más económicas al reducir los rechazos o disminuir los costos de elaboración posterior.

Un interesante complemento de las especificaciones, que permitiría asegurar una mayor uniformidad en las características de los materiales, es lograr que los productores ha-

gan conocer a los usuarios el tipo de control estadístico que aplican a su producción, en relación con factores tales como: profundidad de defectos superficiales, decarburización, ensayos macrográficos, etc. Podría resultar de ello la posibilidad de seleccionar proveedores, en base a los riesgos tolerables en cada caso, o de realizar convenios para intensificar el control en los casos en que fuere necesario.

El hecho de que la elaboración de aceros de calidad en los países latinoamericanos no haya adquirido aún el nivel alcanzado por algunas plantas extranjeras de renombre internacional, hace más probable que los aceros de nuestros países presenten problemas en aplicaciones especiales. Ello exige que nuestros fabricantes de acero se preocupen por conocer las características de esos problemas y se capaciten para resolverlos.

De lo contrario, y mediando la restricción a la importación de aceros, puede llegar a penalizarse a la industria obligándola a usar aceros que, si bien cumplen con todos los requisitos de las especificaciones, pueden originar en su utilización problemas que no se presentan cuando se usan aceros importados de una fuente determinada.

El uso de aceros importados debe ser, en esos casos, parcialmente autorizado, hasta tanto la industria nacional demuestre su capacidad de resolver adecuadamente los problemas a que hacemos referencia.

Con equipamiento adecuado y personal técnico capacitado, las acerías nacionales pueden llegar a solucionar esos problemas y es aún posible que las soluciones sean logradas más rápida y efectivamente, dada la mayor facilidad de contacto entre fabricantes y usuarios.

Los principales problemas que se presentan en los aceros utilizados en la industria mecánica se vinculan con la influencia que tienen, en las propiedades mecánicas y tecnológicas, ciertos factores que serán analizados en base a su relación con las siguientes características de los aceros:

- I. Composición Química.
- II. Templabilidad.
- III. Estructura.
- IV. Defectos Estructurales.

COMPOSICION QUIMICA

Los aceros se clasifican y se especifican en base a su composición química.

Se conoce bastante sobre la influencia de distintos elementos de aleación en las propiedades de los aceros, pero muy poco acerca de la influencia de cantidades muy pequeñas de elementos indeseables, particularmente gases, a los que se atribuye una gran importancia en relación con las propiedades mecánicas del acero y con los procesos de elaboración.

La importancia atribuida a este factor exige que los fabricantes de acero se equipen adecuadamente con instrumentos de muy alta precisión que les permitan controlar correctamente el contenido de impurezas, cuando éstas se presentan en muy pequeñas cantidades.

También es necesario que el equipo de control les permita realizar análisis rápidos de los distintos componentes del acero durante el proceso de fabricación, para que sea posible hacer las necesarias correcciones durante la marcha del mismo.

El uso de este tipo de instrumental requiere la contratación de personal altamente capacitado, no sólo para el manejo y el mantenimiento de esos equipos, sino para la interpretación de los resultados obtenidos y la fijación de criterios de captación en base a los contenidos de impurezas no especificadas.

La influencia de los elementos de aleación en las características de los aceros es de un tipo tal que permite, en muchos casos, el reemplazo de un elemento por otro, en proporciones adecuadas, para obtener las mismas propiedades.

Como consecuencia de esto, existen en el mercado muchos tipos de aceros que son prácticamente equivalentes,

lo cual justifica una normalización que produzca, a un mínimo razonable, el número de aceros que debe utilizar la industria.

La necesidad de normalización es más importante en países como los nuestros, en los cuales se utilizan aceros de muy distintas procedencias, elaborados según especificaciones que, si bien difieren en cuanto a composición química, son muy semejantes en cuanto a propiedades y aplicaciones.

Analizando las características de los aceros correspondientes a distintos tipos de especificaciones, es posible llegar a la elección de aceros tipo para las aplicaciones más importantes. Esto, sumado a una normalización de las dimensiones de los productos semielaborados, puede permitir apreciables economías a la industria.

Esta economía es particularmente importante cuando debe encararse la elaboración de aceros especiales. Los fabricantes pueden, en base a la normalización, concentrar sus esfuerzos en un reducido número de productos de gran venta.

En la Argentina, la Fábrica Nacional de Aviones encaró la tipificación de aceros hace más de 25 años y desde entonces data la tendencia a adoptar las especificaciones SAE para los aceros usados en el país.

La empresa IKA-RENAULT, que desde sus comienzos enfrentó el problema de construir piezas de diseño provenientes de distintos países, encaró permanentemente la tarea de tipificación de aceros, reduciendo a un número muy pequeño los tipos de aceros empleados en la fabricación de sus piezas.

Las especificaciones de aceros de dicha empresa permiten agrupar los aceros en familias de características semejantes, de modo tal que ellos resultan intercambiables para la mayor parte de las aplicaciones. Por otra parte, se recomienda la utilización de un solo tipo de acero por familia.

Criterios semejantes a los de la empresa IKA-RENAULT se han aplicado en otras firmas industriales de la Argentina y por ello la tarea, ahora encarada bajo el auspicio de la Dirección Nacional de Fabricaciones Militares, de establecer una tipificación de aceros en el orden nacional, ha resultado grandemente simplificada.

Sin embargo, es conveniente prevenirse contra una excesiva tipificación que pueda llegar a tener un carácter restrictivo, pues ello puede incidir en la calidad y el costo de ciertos productos especiales.

La influencia cada vez mayor de los elementos de aleación en el costo del acero conspira contra las conveniencias de una tipificación estricta, pues, para ciertas aplicaciones, una ligera desviación en la composición química puede representar una gran economía en piezas a fabricar en gran serie. Si a esto se agrega la posibilidad de que esas desviaciones favorezcan procesos de elaboración tales como la forja, la mecanización o el tratamiento térmico, se comprenderá la conveniencia que puede representar apartarse de un acero tipo, el que, si bien puede justificarse plenamente para la mayoría de aplicaciones semejantes, puede resultar poco conveniente para una aplicación especial.

Como ejemplo de esto, podemos mencionar la utilización de un acero SAE 8620 ligeramente modificado (reducción del contenido de elementos de aleación) en la fabricación de un tipo determinado de engranajes; esa pequeña modificación favorece el mecanizado y reduce los problemas de distorsión, aparte de reducir el costo del acero. Otro ejemplo de nuestra experiencia es el uso de un acero SAE 1042 modificado, que nos ha permitido, como se verá más adelante, solucionar un problema de templabilidad que no podía resolverse adecuadamente usando ningún acero normalizado.

Ejemplos como éstos indican la conveniencia de prevenirse contra una tendencia demasiado rigurosa de normalización, que podría hacerse peligrosa si las entidades gubernamentales pretenden legislar al respecto.

Las firmas nacionales productoras de acero deben estar dispuestas a contemplar la fabricación de aceros fuera de norma, para solucionar problemas específicos de la industria, ya que limitar la producción sólo a pocos productos

normalizados no permitiría justificar una política de protección gubernamental a la industria del acero destinado a la industria mecánica.

TEMPLABILIDAD

La templabilidad de los aceros está directamente relacionada con su composición química, pero no se conoce la naturaleza de esa relación, ni es posible predecir la templabilidad de un modo aceptable en base a la composición química.

El mecanismo teórico involucrado se relaciona con el modo en que influyen los distintos elementos de aleación sobre las velocidades de nucleación y de crecimiento de nuevas fases durante el enfriamiento, influencia que se ve afectada por la presencia simultánea de más de un elemento.

Este aspecto del problema es poco conocido y casi todo el trabajo de investigación que se realiza es de carácter puramente experimental, relacionándose fundamentalmente con el trazado de curvas de transformación isotérmica, y de enfriamiento continuo de la austenita. Es posible que un análisis de estas curvas llegue a permitir más adelante la formulación de hipótesis que faciliten la interpretación físico-química del problema y el establecimiento de criterios de aplicación práctica para la previsión de la templabilidad en base a la composición química de los aceros. Mientras tanto estamos obligados a utilizar como único medio de control las probetas de ensayo de templabilidad Jominy o Sachs, cuya confección y ensayo requieren mucho tiempo y dinero.

La influencia que, en la penetración obtenida en el temple, tienen factores tales como: el medio de enfriamiento utilizado, los procesos previos de elaboración de la pieza, las características de la instalación de temple disponible, etc., hacen que el problema de la templabilidad no quede suficientemente definido por los ensayos antes mencionados, sobre todo cuando las exigencias requeridas son rigurosas en cuanto a penetración de temple en las piezas.

En la empresa IKA-RENAULT se planteó recientemente un problema, en el que las necesidades de aplicación y de facilidades exigían el uso de un acero de 0,42% de C con el que debió obtenerse una penetración por temple al agua, de 3 a 12 milímetros en un diámetro de 50 mm. La templabilidad de los aceros al carbono de uso corriente no permite alcanzar el mínimo de penetración de temple pedido; por otra parte, el uso de aceros aleados exige templar en aceite o reducir el contenido de carbono. La solución se

logró por el agregado de pequeñas cantidades controladas de elementos de aleación, lo cual permitió mantener el temple en agua sin reducir el contenido de carbono, que era imperativo para asegurar una buena resistencia al desgaste.

En las investigaciones que se llevaron a cabo con relación a ese estudio, se descubrió que en aceros de escasa templabilidad, la presencia de cascarilla en la superficie de las piezas puede ser un factor fundamental para lograr o no los resultados deseados. Las figuras N° 1 y 2 muestran los resultados obtenidos con un mismo acero cuando en la superficie de la pieza existía o no cascarilla. Puede observarse que la templabilidad inherente del acero era la misma en ambos casos, siendo la presencia de cascarilla en ciertas zonas la causa de que en el caso de la figura 1, el resultado obtenido fuera inaceptable.

Las figuras 3 y 4 ponen de manifiesto otro fenómeno descubierto en nuestras experiencias, en relación con el mismo problema; se observó que la excentricidad de la zona templada estaba relacionada con la forma en que la pieza era introducida en el baño de temple, siendo inevitable una cierta excentricidad cuando las piezas caían libremente en la cuba de enfriamiento.

Para evitar este problema, que era crítico para un acero con la templabilidad del correspondiente a las figuras 3 y 4, se construyó un dispositivo, mostrado en las figuras 5 y 6, con el que se logró obtener un anillo perfectamente uniforme, a la par que, por una mayor velocidad de enfriamiento asociada a la velocidad de los chorros de agua, se logró un pequeño aumento en la penetración de temple promedio.

Con el agregado de un cierto porcentaje de elementos de aleación, fué posible, en nuevas coladas de acero, incrementar adecuadamente la templabilidad, desapareciendo así la necesidad del uso del dispositivo (que encarecía el proceso).

El control de la cascarilla superficial siguió siendo fundamental para obtener buenos resultados.

La importancia de la templabilidad en la elección de los aceros radica fundamentalmente en la necesidad de resistencias mecánicas adecuadas en función del tamaño de la pieza. Dada la escasa templabilidad de los aceros al carbono, no se puede conseguir con ellos resistencias elevadas, salvo con piezas de pequeñas dimensiones; de allí surge la principal razón del uso de aceros aleados en la construcción de piezas de la industria mecánica.

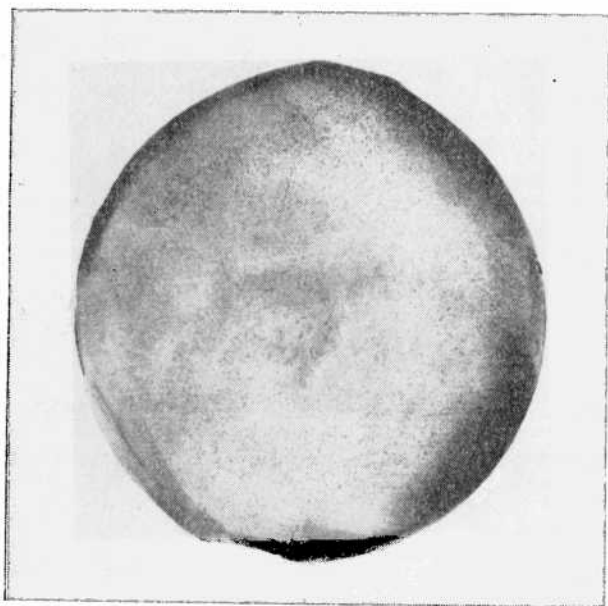


Fig. 1 — Pieza templada con cascarilla en la superficie.

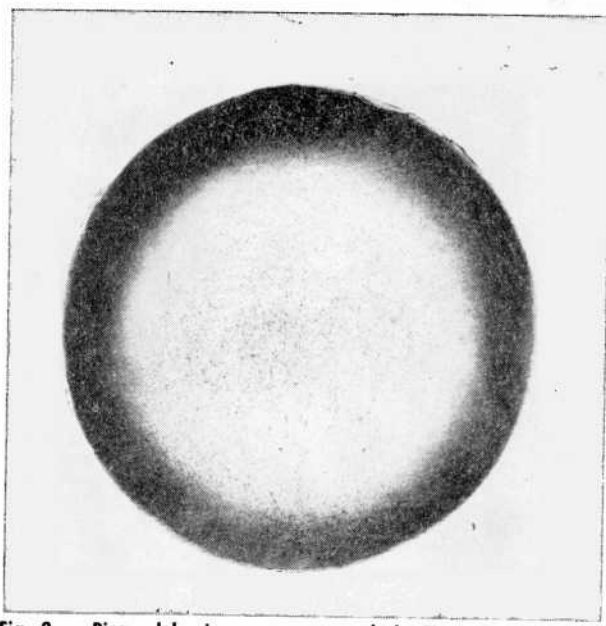


Fig. 2 — Pieza del mismo acero que el de Fig. 1 templada sin presencia de cascarilla en la superficie.

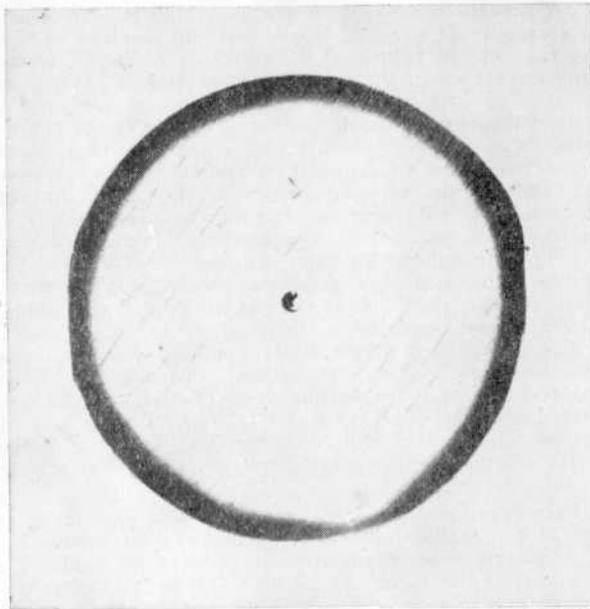


Fig. 3 — Temple obtenido con un acero de menor templabilidad que el de las figuras anteriores, templado en cuba de agua agitada.

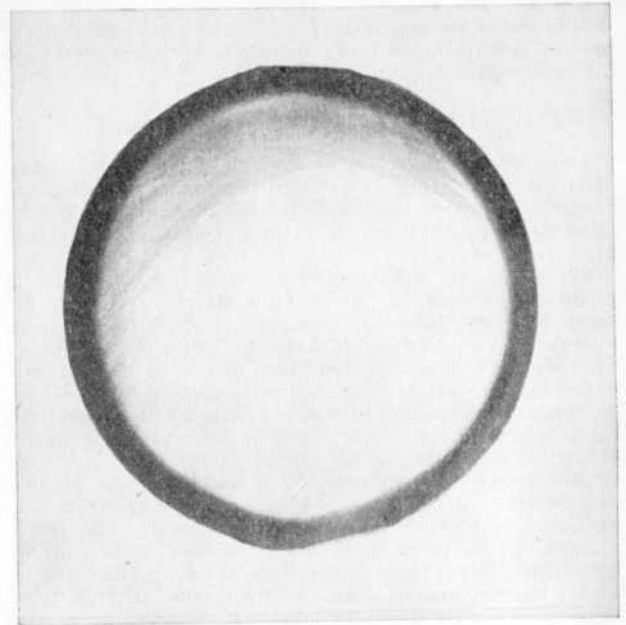


Fig. 4 — Temple obtenido con el acero de Fig. 3 usando el dispositivo mostrado en la Fig. 5. Obsérvese la mayor concentricidad de la corona templada.

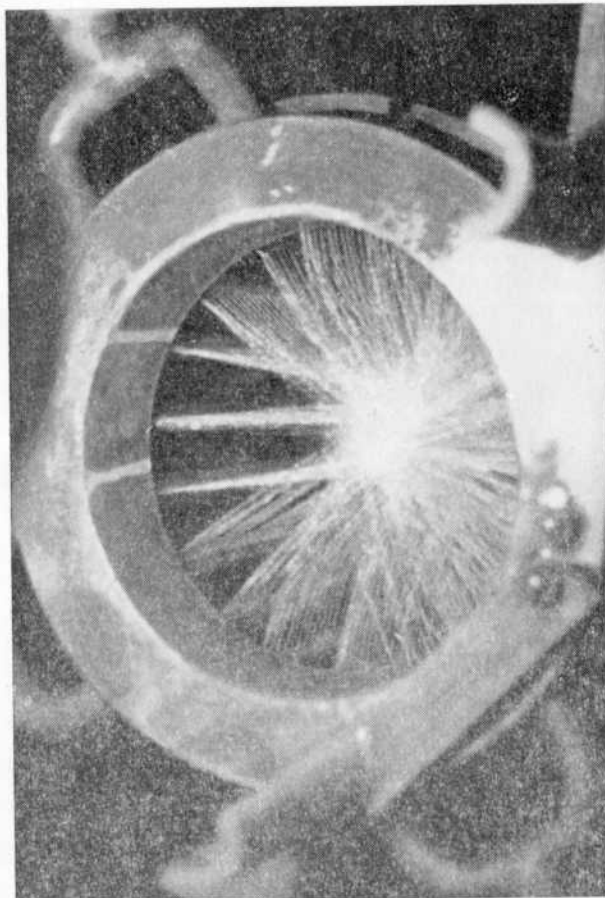


Fig. 5 — Vista superior del dispositivo de temple por ducha mostrando la distribución de los chorros de agua.

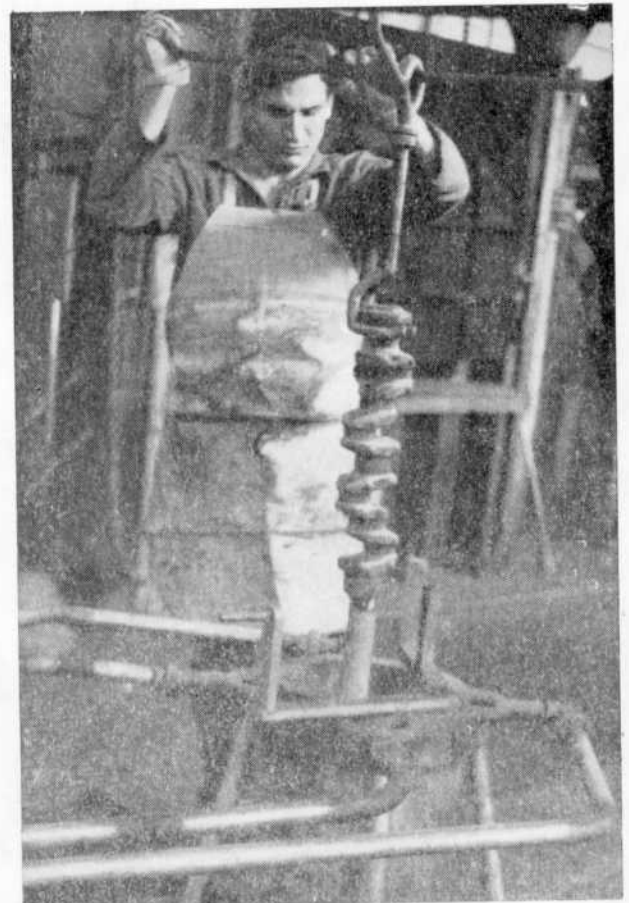


Fig. 6 — Introducción de un cigüeñal para ser templado en el dispositivo de la Fig. 5.

Sin embargo, por razones de economía es necesario utilizar, siempre que sea posible, aceros al carbono en vez de aceros aleados; su menor templabilidad no siempre es un inconveniente, ya que en muchos casos una elevada templabilidad, aparte de incrementar los gastos de mecanización, puede representar un peligro por la mayor fragilidad que va asociada a una mayor dureza.

En casos en los cuales, por las dimensiones de la pieza, no se puede lograr suficiente resistencia con aceros al carbono, se puede especular con el aprovechamiento de tensiones residuales de compresión, las que favorecen la resistencia mecánica de las piezas cuando aparecen en zonas convenientes. La fabricación de "paliers" de automóviles con acero al carbono, templado por inducción, se basa en ese hecho y ha permitido reducir los costos al eliminar el uso de aceros aleados, más caros y técnicamente inferiores para esa aplicación.

La fabricación de engranajes es un interesante campo donde la templabilidad desempeña un importante papel en relación con la elección de los aceros más convenientes, ya que ella debe ser cuidadosamente controlada para lograr adecuada resistencia y tenacidad. Usando aceros de bajo carbono y un contenido de elementos de aleación adecuado al tamaño de engranaje, se logran buenos resultados, por el proceso de cementación. Sin embargo, el procedimiento es caro y se realizan esfuerzos para lograr soluciones equivalentes o mejores con otros procesos más económicos. El temple por inducción en aceros de medio carbono podría llegar a ser una solución, pero existen aún difíciles problemas de puesta a punto del proceso.

Los problemas de distorsión de los engranajes están vinculados a la templabilidad de los aceros, y exigen un control riguroso de las coladas que se utilizan en la fabricación de estas piezas.

ESTRUCTURA

La estructura de los aceros interviene en las propiedades de los mismos de un modo tanto o más importante que la composición química. La posibilidad que presentan los aceros de modificar entre amplios límites sus características estructurales, permite la amplia gama de aplicaciones de estos materiales en la industria.

El tamaño de grano es uno de los factores estructurales que más influyen en las propiedades del acero. Si bien el tamaño de grano puede ser regulado mediante tratamientos mecánicos y térmicos, existe una predisposición, dependiente del modo de elaboración, que regula el comportamiento posterior del acero en ese sentido.

Se sabe como fabricar aceros con tamaño de grano inherente controlado, pero no se conocen bien los mecanismos teóricos involucrados. Un conocimiento básico de esos mecanismos podría ayudar en la interpretación de ciertos fenómenos desconocidos que se suponen vinculados al tamaño de grano.

Experimentalmente se ha verificado, no sólo para el acero sino para otros materiales metálicos, que la resistencia mecánica puede expresarse como la suma de dos términos: uno dependiente de la temperatura de ensayo y otro dependiente del tamaño de grano; de tal suerte que la relación entre la resistencia mecánica y la inversa de la raíz cuadrada del tamaño medio de grano resulta una línea recta cuya pendiente no varía con la temperatura ni el tipo de rotura (dúctil o frágil). Esto puede verse en la figura 7, que muestra los resultados de experiencias de Petch con un acero de bajo carbono.

La explicación de este comportamiento de los materiales podría arrojar luz sobre algunos factores desconocidos que influyen en la resistencia mecánica de los aceros y de otros materiales.

En un trabajo sobre este tema, realizado en el Centro de Investigaciones Metalúrgicas de Córdoba, se ha adelantado una hipótesis interpretativa de las experiencias de Petch, deduciendo además, en base a esa hipótesis, parámetros que podrían utilizarse para medir la sensibilidad a la rotura

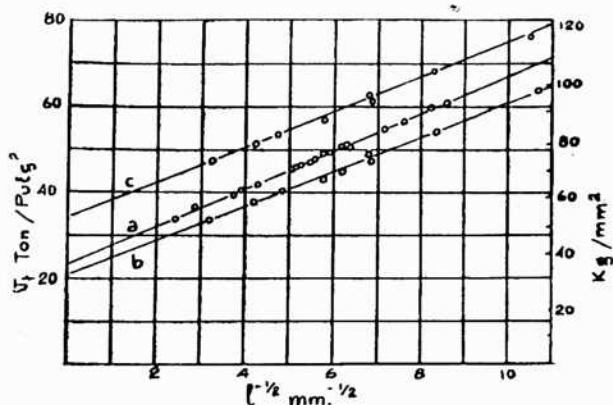


Fig. 7 — Relación entre la resistencia a la fractura y el tamaño de grano para un acero de bajo carbono en (a) - 196°C (frágil); (b) 18°C (dúctil); (c) -115°C (dúctil). Petch (1956).

frágil de los materiales. Estas hipótesis requieren verificaciones experimentales que se están programando.

Otro factor estructural de importancia es la aparición, en aceros hipoeutectoides reconocidos o normalizados, de bandas alineadas de ferrita y perlita. Este fenómeno se denomina estructura en bandas y afecta, a veces en grado importante, a la mecanización y a la distorsión de las piezas.

La estructura en bandas es también de carácter inherente a la fabricación del acero, pero puede ser eliminada mediante tratamientos térmicos especiales aplicados a las piezas.

La figura 8 muestra los resultados de una experiencia realizada en la planta de Forja de IKA-RENAULT con un acero que tenía una extraordinaria tendencia a la formación de bandas.

Las micrografías de la parte superior muestran el aspecto del acero en la cabeza y en el vástago de un piñón cuando éste fué sometido al proceso de recocido cíclico normalmente utilizado. Mediante un tratamiento especial, que incluía un gran incremento de la velocidad de enfriamiento de la austenita hasta el momento del comienzo de su transformación isotérmica, fué posible modificar la estructura del modo que se ve en las micrografías de la parte inferior de la figura 8.

La eliminación de la estructura en bandas es mucho más difícil en barras laminadas que en piezas forjadas, y por ello el vástago del piñón de la figura 8 presenta comparativamente una mayor intensidad del fenómeno, que la cabeza del mismo. Sin embargo, la destrucción de las bandas lograda con el tratamiento especial, se considera aceptable aún en el vástago.

Respecto a la interpretación teórica del fenómeno de formación de bandas hemos adelantado, en un trabajo inédito, la teoría de que el mismo se vincula con la segregación de elementos aleados en los contornos de los granos de austenita de los lingotes. Si esa segregación no se elimina en los procesos posteriores de laminación, quedarán en las palanquillas y barras zonas longitudinales con segregación de elementos de aleación y, como consecuencia de ello, aparecerán, al transformarse la austenita en forma lenta, zonas longitudinales de ferrita alternadas con zonas longitudinales de perlita, por las razones que se dan a continuación.

Se admite que los elementos de aleación, tanto si forman soluciones sólidas de sustitución como de inserción, disminuyen el tamaño de los intersticios de la red cristalina del hierro gamma, donde se alojan los átomos de carbono. A altas temperaturas, los intersticios son suficientemente grandes como para permitir que los átomos de carbono se difundan uniformemente en el acero; pero, al disminuir la temperatura en forma lenta y reducirse el tamaño de los intersticios, los átomos de carbono tenderán a concentrarse en las zonas donde esos intersticios son de mayor tamaño,

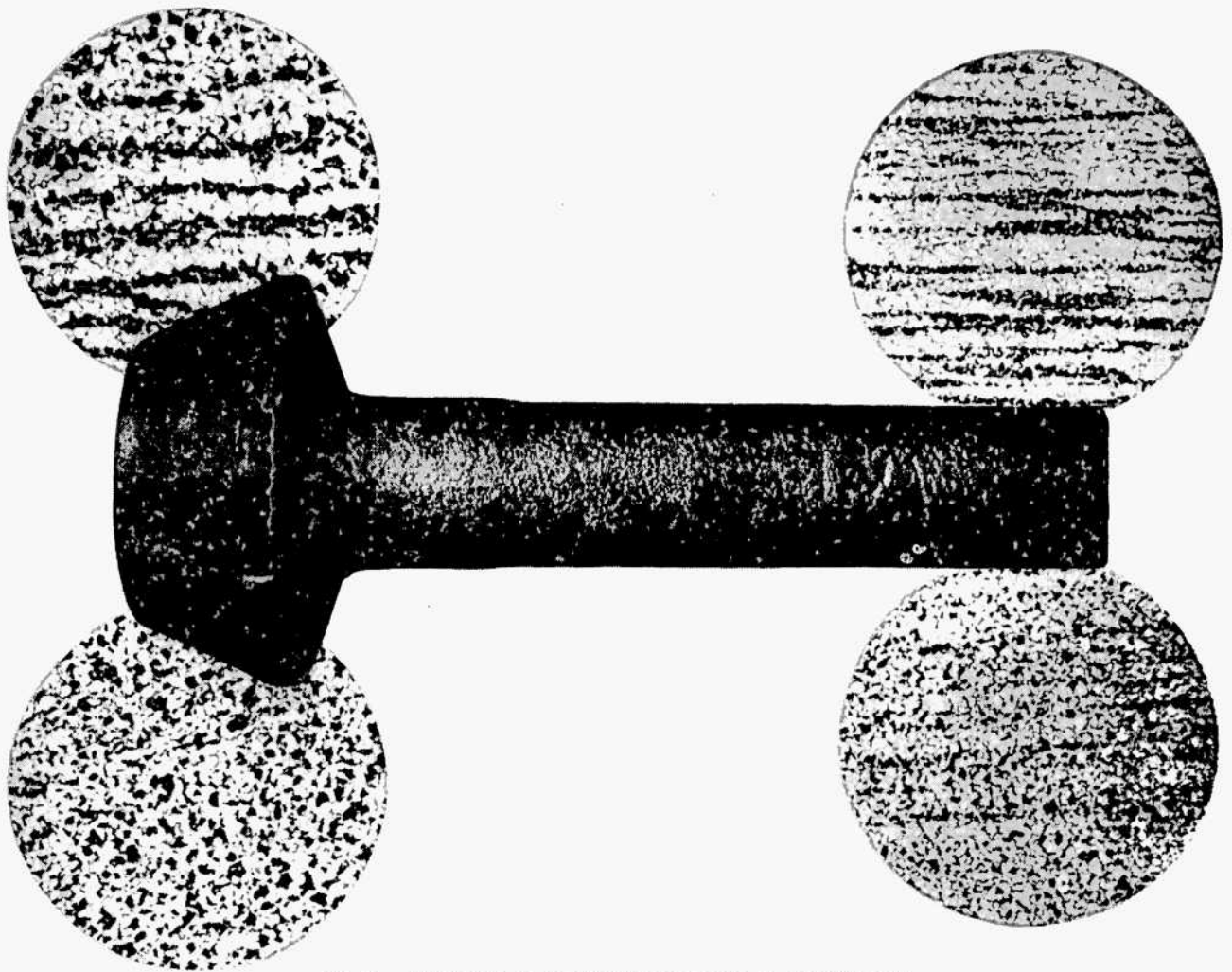


Fig. 8 — Eliminación de la estructura en banda en un piñón por enfriamiento rápido de la austenita antes de su transformación.

es decir en las zonas que originariamente constituían los centros de los granos de austenita, menos ricos en elementos de aleación.

La austenita se transformará en perlita en correspondencia con las zonas más ricas en carbono, y en las menos ricas se transformará casi exclusivamente en ferrita, dando así origen a la estructura en bandas.

Para destruir esta estructura se deberá impedir la segregación de carbono, acelerando el enfriamiento de la austenita, antes de su transformación, que es lo que se hizo en la experiencia antes mencionada.

Para verificar nuestra teoría, estamos preparando un estudio que nos permita verificar si efectivamente, en los aceros de alta tendencia a la formación de bandas, existe una mayor segregación de elementos de aleación.

Otro factor estructural vinculado al comportamiento de los aceros hipoeutectoides en la fabricación de elementos de máquinas, es el tipo de perlita obtenido en los procesos de tratamientos de recocido o normalizado previos al mecanizado.

Es siempre deseable obtener perlita laminar, pues así se facilitan las operaciones de mecanización y se reduce la distorsión de las piezas que llevan tratamientos térmicos posteriores. Ello es sin embargo muy difícil, sobre todo por las variaciones de templabilidad del acero, por lo que es necesario tolerar desviaciones en el tipo de estructura a obtener.

Si usamos el término perlita en un sentido muy general, que nos permita incluir distintos tipos de agregación de la ferrita y la cementita, podemos decir que la perlita puede presentar distintos aspectos de difícil clasificación. Es por ello necesario referirse a patrones, cuando se quiere establecer condiciones de aceptación o rechazo.

Desde una estructura completamente esferoidal hasta la aparición de estructuras bainíticas, pueden presentarse distintos tipos de perlitas cuya influencia relativa en el mecanizado no está establecida, pero que puede analizarse detenidamente en relación con operaciones de mecanizado particularmente difíciles. En esos casos el uso de patrones resulta de gran utilidad.

El tipo de estructura generalmente denominado de Windmasstatten suele ser objetado en las especificaciones. La influencia de este tipo de estructuras en las propiedades del acero no se conoce muy bien, pero es prudente reducir su aparición a un mínimo. Se considera que la estructura Windmansstatten, que consiste en la precipitación de ferrita en forma acicular dentro de la perlita, está vinculada a una incorrecta eliminación de la estructura dendrítica de los lingotes; no obstante, el mecanismo de su formación y el modo de evitarla no son bien conocidos.

Los criterios a aplicar en relación con los problemas asociados a los factores estructurales deben ser analizados entre productores y usuarios para establecer claramente la forma

en que la producción será controlada, desde ese punto de vista, en base a patrones estructurales que conviene que figuren en las especificaciones del usuario.

DEFECTOS ESTRUCTURALES

Los defectos estructurales afectan de un modo fundamental a las propiedades de los aceros y pueden ser clasificados del modo siguiente:

1. Defectos asociados al desordenamiento atómico (dislocaciones, vacancias, tensiones residuales, etc.).
2. Defectos asociados a discontinuidades estructurales (grietas, porosidades).
3. Defectos asociados a la presencia de átomos extraños (impurezas, inclusiones).
4. Defectos debidos a heterogeneidad química (segregación estructural, segregación de inclusiones).

Otra forma de clasificar estos defectos estructurales consiste en dividirlos, de acuerdo con su tamaño, en submicroscópicos, microscópicos y macroscópicos.

Los defectos submicroscópicos, como las dislocaciones o la segregación no visible de impurezas, tienen sin duda una estrecha vinculación con los efectos de naturaleza desconocida que afectan a la calidad del acero. Los defectos macroscópicos, por otra parte, si bien son los más fáciles de detectar, son los más peligrosos en relación con la calidad del acero. Los defectos microscópicos constituyen una familia cuyos efectos son intermedios entre los de los dos grupos anteriores.

Poco podemos decir de los defectos submicroscópicos en relación con el control de la calidad de los aceros, ya que su influencia nos es casi totalmente desconocida.

De los defectos microscópicos, lo que más se controla es el contenido de microinclusiones. Se utilizan para ello patrones, siendo los más usados entre nosotros los de la especificación ASTM A 46, tabla 1, que permite fijar normas de aceptación y rechazo en base a la aplicación que tendrá el acero. Es necesario, en relación a estos patrones, fijar un criterio respecto a la aparición probable, durante la observación, de defectos de mayor tamaño que los de la tabla, ya que es inevitable la presencia en los aceros de macroinclusiones, que deben ser analizadas de otra manera.

Es también necesario establecer claramente la frecuencia de las observaciones a realizar y aclarar otros aspectos que se mencionan en la referida especificación, ya que este tipo de control suele suscitar serias controversias entre fabricantes y usuarios.

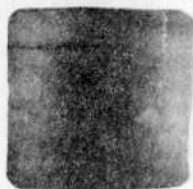
El hecho de que la real influencia de las inclusiones en la calidad del acero no se conozca muy bien, hace más complicado el problema, pues muchas veces no se justifica un rechazo en base a un contenido ligeramente elevado de microinclusiones cuando, por ejemplo, el acero se utiliza con una dureza Brinell inferior a 300.

Si el acero se utiliza con dureza elevada, el efecto de concentración de tensiones provocado por las microinclusiones es mucho más elevado, y entonces se puede justificar una mayor exigencia en el control de microinclusiones.

Si bien las microinclusiones de un acero pueden no representar un grave problema, un contenido elevado de ese tipo de defectos indica que en la elaboración del acero no

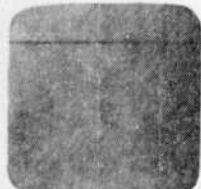
MACROETCH PHOTOGRAPHS OF ALLOY AND KILLED CARBON STEELS

ACCEPTABLE IN ANY DEGREE

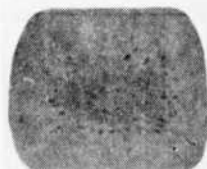


PATTERN

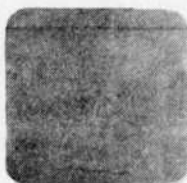
UNACCEPTABLE IN ANY DEGREE



FLUTE CRACKS



GASSY



BUTT TEARS



FLUTE CRACKS



GASSY

Fig. 9 — Fotografías de macroataque de aceros aleados y al carbono calmado.

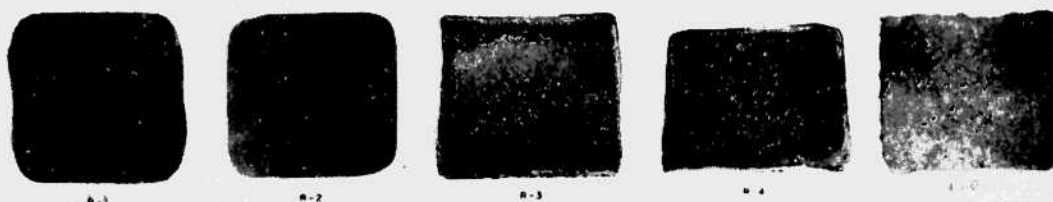
Acceptable in any degree = aceptable en cualquier grado; un-acceptable in any degree = inaceptable en ningún grado; pattern = patrón; flute cracks = grietas alargadas; gassy = estructura porosa; butt tears = estructura desgarrada.

MACROETCH PHOTOGRAPHS OF ALLOY AND KILLED CARBON STEELS

SUBSURFACE CONDITIONS



RANDOM CONDITIONS



CENTER SEGREGATION



Fig. 10 — Fotografías de macroataque de aceros aleados y al carbono calmado.

Subsurface conditions = condiciones superficiales; Random conditions = condiciones fortuitas; Center Segregation = segregación central.

se han tomado precauciones adecuadas y ello puede provocar la aparición de otros defectos más graves. Desde este punto de vista, el control de microinclusiones tiene el sentido de una medición indirecta del método de elaboración del acero.

Los defectos que están ligados más directamente a la presencia de un excesivo contenido de microinclusiones son las macroinclusiones, a las que nos referiremos enseguida.

Por desconocerse en detalle los mecanismos que actúan en la formación de inclusiones en el acero, resulta bastante difícil regular adecuadamente el grado de "limpieza" de los mismos.

En ciertas plantas, los buenos resultados obtenidos se deben posiblemente a la experiencia adquirida respecto a ciertos procedimientos (que se trata de mantener en secreto), cuya aplicación permite obtener buenos resultados sin que se conozca posiblemente el por qué.

Los estudios físico-químicos de los procesos de elaboración del acero no han alcanzado aún un grado de desarrollo tal que permita arribar a soluciones satisfactorias frente a los problemas de exceso de inclusiones.

Es evidente que factores tales como la formación de inclusiones por arrastre de refractario, o por excesiva oxidación del acero al ser colado, pueden ser controlados y mejorarse así la calidad, pero subsisten factores desconocidos vinculados a la variación de solubilidad de los distintos elementos en la masa líquida y al grado de equilibrio ter-

modinámico con que se conduce la colada, con respecto a los cuales sólo se puede por ahora proceder al análisis experimental de su influencia.

Para estos estudios sería de gran importancia poder contar con equipos que permitieran medir con mayor exactitud el grado de "limpieza" de los aceros, que los métodos actualmente usados. Se han desarrollado recientemente equipos que serán de gran utilidad en ese sentido; se trata de microscopios integradores que permiten realizar en forma rápida el recuento de defectos estructurales de distinto tipo.

El uso de estos microscopios permitirá medir la "limpieza" de los aceros de un modo cuantitativo y ello facilitará la aplicación de métodos de control estadístico para comparar la influencia de distintos factores en la elaboración del acero.

En lo referente al control y a la especificación de límites tolerables de macroinclusiones, las especificaciones internacionales son muy poco explícitas.

Recientemente, la Military Standard 430 A ha incluido cuadros que permiten analizar no sólo las macroinclusiones sino también otros defectos macrográficos del acero. Las figuras 9 y 10 muestran esos cuadros que han sido adaptados como referencia por la empresa IKA-RENAULT, estableciendo que los defectos específicos de la Fig. 10 no deben ser superiores a los de la columna número 3.

Es conveniente que, aparte de establecer criterios de este tipo, las especificaciones de los usuarios establezcan con

qué criterio se seleccionarán las muestras para los ensayos macrográficos y la frecuencia con que el fabricante debe controlar este aspecto en su propia planta.

Otro tipo de defecto macroscópico, que puede no considerarse estructural, lo constituyen los defectos superficiales que pueden ser tolerados en las barras y palanquillas.

El método de control más corrientemente utilizado es el ensayo de aplastamiento, que pone en evidencia la profundidad de los defectos superficiales y permite fijar límites de aceptación y rechazo, que deben ser complementados con criterios acerca de la frecuencia de los ensayos y selección de las muestras, tanto por parte del usuario como del fabricante del acero.

La corrección de los defectos superficiales es otro gran problema de la fabricación del acero. Muchos de los orígenes de estos defectos son de difícil interpretación, como, por ejemplo, el hecho de que los aceros de bajo carbono y de grano fino son mucho más propensos que otros a presentar grietas transversales en los lingotes, grietas éstas que son responsables de graves defectos superficiales de la palanquilla, si no son previamente eliminadas.

Muchos otros factores desconocidos influyen en la terminación superficial de los lingotes y palanquillas. La investigación en este sentido es de suma importancia por la elevada influencia que tienen, en el costo del acero, el control de la terminación y las operaciones de limpieza superficial de los lingotes y las palanquillas.

CONCLUSIONES

Las características de los problemas involucrados en el uso de aceros en la industria mecánica exige que los mismos sean analizados por personal técnico altamente preparado y que se trabaje en estrecha colaboración entre los técnicos del usuario y los del fabricante del acero.

Esa colaboración debe incluir el derecho del usuario a conocer, tanto como sea posible, los métodos de elaboración del fabricante, así como el derecho de éste a conocer en detalle la naturaleza de los problemas que se originan con el uso de sus aceros.

Es imprescindible que las plantas productoras que quieren dedicarse a la fabricación de acero para la industria

mecánica no sólo cuenten con personal técnico de gran preparación teórica y práctica, sino que se equipen con instrumental de laboratorio de gran precisión y efectividad.

También los usuarios deben equiparse en el mismo sentido, para poder encarar la solución de los inevitables y complejos problemas que se presentan en la fabricación de piezas mecánicas.

La utilización de los servicios de Institutos de investigación metalúrgica, puede ser de gran conveniencia tanto para fabricantes como para usuarios. En ellos puede encararse la solución de problemas que, por sus características, no se justifica que sean tratados en los laboratorios industriales.

Resulta de fundamental importancia, para el desarrollo industrial de nuestros países, contar con ese tipo de Institutos, a los cuales la industria debe prestar su más decidida colaboración para beneficio propio y de la comunidad a la que pertenece.

BIBLIOGRAFIA

1. E. ABRIL — "Previsión de la resistencia a la rotura frágil y dúctil en los materiales". Revista de la F.C.E.F. y N. - Universidad Nacional de Córdoba - N° 70 - 1966.
2. "Characterization" Special Report - Metal Progress - Abril 1968 - Page 60.
3. J. POMEY — "Progress dans l'utilisation des produits ferreux dans l'industrie automobile" - L'Industrie Nationale - Oct-Dic. 1960.
4. J. POMEY — "L'usinabilité des aciers en relation avec la structure obtenue par recuit" - Revue de Métallurgie - Mars 62.
5. Mlle M. T. Leger — P. Detrez. "La diffusion dans les acier moulés lors des traitements thermiques d'homogénéisation" - Revue de Métallurgie - Sept. 65.
6. A. LEGAT — "Der Aussagewert der Korngrösse über den Homogenitätsgrad des Gefüges und das Umwandungsverhalten" - Härtereitechnische Mitteilungen - Band 15 Jahrgang 1960 - Heft 4.
7. W. PETER und H. FINKLER — "Betrachtungen über Möglichkeiten zur Erzielung eines zeilenfreien Gefüges" - Härtereitechnische Mitteilungen Band 16 - Jahrgang 1961 - Heft 3.
8. H. KÖLZER — "Erleichterung der spanabbendenden Formgebung durch Wärmebehandlung" - Band 16 - Jahrgang 1961 - Heft 3.

El acero y la industria mecánica

Por Aldo Bartocci.

1. Generalidades.

La evolución de la producción de acero en el mundo está puntualizada por una cifra de alrededor de 190 millones de toneladas en 1950, aumentada a cerca de 340 millones en 1960 y a más o menos 500 millones en 1967; estudios estadísticos llevan a prever un consumo de cerca de 700 millones de toneladas en 1975.

El desarrollo de la producción mundial de acero ha interesado en distinto modo a los diferentes países; haciendo referencia al período comprendido entre 1950 y 1967, y considerando las cifras porcentuales sobre el total mundial, los Estados Unidos de América, no obstante el desarrollo de la producción en el mismo período, se presentan con una reducción del porcentaje de 46,6% a 24,4%; también el Reino Unido presenta una disminución del 8,8% al 5%; mientras aparecen aumentadas las cifras relativas a Rusia, del 14,6% al 21,1%; al Japón del 2,6% al 12,8%; a la CECA del 16,9% al 18,6%; y en fin ha aumentado, del 10,5% al 18,1% la cifra relativa al conjunto de los restantes países.

El cambio de los datos está en relación con el desarrollo industrial de los diferentes países y con el hecho, ya logrado, de que un desarrollo de la industria siderúrgica puede obtenerse también si falta la materia prima en forma interna.

La repartición del empleo del acero en los diferentes sectores de consumo está sintetizada en la figura 1, que se refiere a los países de la Comunidad Europea y que indica la importancia relativa de los varios sectores en el consumo del acero en 1960, con la perspectiva de evolución en el consumo hasta 1970. Los valores absolutos aparecen en la tabla 1.

Los sectores que muestran una mayor tendencia al desarrollo son aquellos de edificación y trabajos públicos, de automóviles, embalaje, máquinas eléctricas; para las construcciones navales y ferroviarias hay poco incremento previsto.

Se debe tener presente que en ciertos sectores el aligeramiento de las estructuras ha llevado a un menor empleo para cada artículo manufacturado; por otra parte, en otros sectores la tendencia a realizar productos manufacturados cada vez mayores, como es el caso de las grandes naves y grandes máquinas generadoras de energía, ha llevado a un menor empleo del acero por unidad de capacidad o potencia.

Se debe reconocer que en todos estos campos el progreso técnico ya mencionado es obtenido, por un lado, con el desarrollo de aceros de calidades y característi-

cas más elevadas, y, por otra parte, con el perfeccionamiento de los proyectos para utilizar racionalmente las posibilidades ofrecidas por las características mejoradas. En estos últimos veinte años, de hecho, paralelamente al gran desarrollo de la producción mundial, se han verificado cambios en las tecnologías y mejoramiento de las características en general, como consecuencia de una intensa actividad de investigación.

Para los aceros de producción en masa el progreso se ha manifestado esencialmente en el sector de la productividad con consecuencias relevantes en la economía del producto final. Por otra parte, en el sector de los aceros nomías en el costo de producción.

En el panorama general del desarrollo de la producción del acero, se considera que actualmente la capacidad productiva mundial es notablemente superior a la producción efectuada: se piensa que en 1967 las plantas siderúrgicas del mundo hubieran podido producir 70-80 millones de toneladas más.

Este desequilibrio se ha relacionado con el hecho de que las nuevas plantas siderúrgicas tienen dimensiones muy elevadas. De hecho, la dimensión mínima de un moderno centro siderúrgico es de algunos millones de toneladas; por lo tanto, el mismo hecho de renovar una planta antigua determina un brusco aumento de capacidad, al cual no siempre corresponde el aumento de absorción del mercado, que progresa gradualmente. El desequilibrio ya mencionado se relaciona también con el hecho de que en muchos países se realizan plantas siderúrgicas que no tienen proporción con la posibilidad efectiva de consumo.

En resumen, mientras el progreso tecnológico ha llevado a una disminución del costo del producto y por lo tanto del precio de venta, el diverso equilibrio entre la oferta y la demanda ha llevado a una ulterior tendencia a la disminución de los precios. Así, desde 1960 a 1967, las cotizaciones internacionales han sufrido rebajas del 17% en laminados mercantiles, del 18% en perfiles pesados, del 15% en planchas gruesas y del 37% en planchas delgadas al frío.

Un tratamiento genérico de los reflejos determinados por el progreso de la siderurgia sobre la industria mecánica no es fácilmente condensable, dada la multiplicidad de los aspectos que presenta el tema. Esta exposición se limitará a algunas consideraciones de carácter general, a examinar en particular algunos aspectos relativos al desarrollo de los nuevos tipos de acero. Y, dada también la amplitud de un tratamiento sobre las carac-

TABLA 1 — CONSUMO DE ACERO COMUN Y DE ACEROS ESPECIALES POR SECTORES
EN MILES DE TONELADAS DE PRODUCTO

	ALEMANIA			U.E.B.L.			FRANCIA			ITALIA			PAISES BAJOS			COMUNIDAD		
	1960	1970	Indice	1960	1970	Indice	1960	1970	Indice	1960	1970	Indice	1960	1970	Indice	1960	1970	Indice
Tuberías	3.035	3.600	119	310	435	140	1.210	1.575	130	1.150	2.150	187	140	300	214	5.845	8.060	138
Traficación, estiramiento, lamin. al frío.	3.455	4.400	127	805	1.020	127	1.425	2.000	140	950	1.500	158	220	280	127	6.855	9.200	134
Fundiciones de acero.	5.670	6.500	97	105	100	325	400	123	180	200	111	20	20	100	100	1.300	1.375	106
Obras y enseres metálicos	5.760	8.250	143	520	700	134	2.525	3.900	154	1.665	2.750	165	445	640	143	10.915	16.240	149
Embalajes metálicos	390	580	148	65	105	167	260	430	165	200	510	258	175	220	125	1.090	1.845	169
Máquinas no eléctricas	3.150	3.150	151	85	135	162	1.000	1.550	155	545	850	155	120	160	133	3.840	5.845	152
Máquinas eléctricas	2.090	840	154	80	120	150	200	350	175	160	250	156	70	100	143	1.060	1.660	157
Canteras navales	620	700	113	75	90	118	280	325	115	230	260	114	370	250	68	1.575	1.625	103
Locomotoras y materiales rotan- tes.	265	275	105	55	65	115	195	200	102	65	135	207	65	70	108	645	745	116
Automóviles	3.400	3.400	179	30	50	167	1.325	2.000	151	645	1.450	225	50	70	140	3.945	6.970	177
Edificación y trabajos públicos.	2.025	3.300	163	315	510	163	1.555	2.900	186	1.320	2.500	189	520	860	166	5.735	10.070	176
Calles enfriadas	230	180	78	50	45	91	210	270	130	120	190	160	45	55	100	655	730	111
Otros sectores	785	920	118	185	240	130	320	400	125	300	450	150	40	55	140	1.630	2.065	127
Consumo total	21.770	30.250	139	2.680	3.620	134	10.830	16.300	151	7.530	13.200	175	2.280	3.070	135	45.090	66.430	147
Variación de los stock técnica- mente necesarios.	+500	+250		+40	+20		+170	+150		+300	+180		+50	+30		+1.060	+630	
Requerimiento total de acero, ...	22.270	30.500	137	2.720	3.640	134	11.000	16.450	150	7.830	13.380	171	2.330	3.100	133	46.150	67.060	145

terísticas físico-químicas de los nuevos tipos de acero, nos limitaremos a considerar aquellos tipos que pueden interesar en lo relativo a sus aplicaciones en la industria mecánica, por sus características de resistencia.

2. El progreso tecnológico en la siderurgia.

El progreso tecnológico en la siderurgia ha representado, en los últimos decenios, una verdadera revolución en los métodos y en los procesos tradicionales.

La instalación de altos hornos de grandísimas dimensiones y el proceso de afino con oxígeno han permitido obtener aceros de elevada calidad y de más bajo costo, destinado a empleos en masa.

El sistema de la colada continua ha llevado también a una reducción de los costos, ya sea por las características del diagrama de trabajo, ya sea por el aumento del rendimiento de las operaciones.

En el campo de los aceros especiales, el proceso de colada en vacío y de afino bajo escoria han elevado el nivel cualitativo; los hornos eléctricos de arco han ampliado su campo de uso aumentando la capacidad, la potencia eléctrica y la rapidez de carga, añadiendo un interesante aspecto económico al aspecto cualitativo, ya tradicional. Por otro lado, se debe considerar el desarrollo de la automatización de todas las fases de los trabajos, con influencia sobre el incremento de la productividad, el que ha permitido absorber el aumento de otras formas de costo.

El desarrollo de los trabajos ha estado acompañado, en estos últimos años, de un aumento de la actividad de investigación en todos los sectores. Las características de los aceros han sido mejoradas uniando, por un lado, ca-

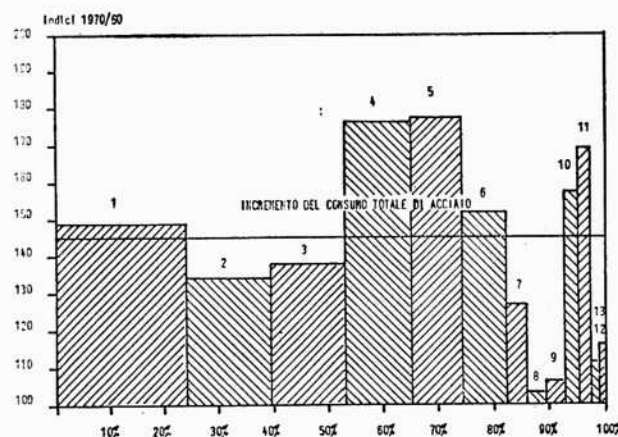


Figura 1. Importancia relativa de los varios sectores en el consumo del acero en 1960 y evolución prevista del consumo de acero por sectores hasta 1970, para los países de la Comunidad.

1. Obras y enseres metálicos;
2. Trefilados, estirados y laminación al frío;
3. Tubos de acero;
4. Edificación y trabajos públicos;
5. Automóviles;
6. Máquinas no eléctricas;
7. Otros sectores;
8. Canteras navales;
9. Fundiciones de acero;
10. Máquinas eléctricas;
11. Embalajes metálicos;
12. Calles enfriadas;
13. Locomotoras y materiales rotantes;

Incremento del consumo total de acciaio = incremento del consumo total del acero.

racterísticas más elevadas y, por otro, un standard cualitativo sobre el cual basarse con una mínima dispersión de los valores de los varios parámetros cualitativos.

La metalurgia de los aceros de embutido profundo está haciendo constantes progresos, gracias a un mejor conocimiento de los fenómenos que regulan la deformación del metal. Las nuevas técnicas de fabricación del lingote de acero de convertidor soplado con oxígeno han permitido obtener en forma económica aceros con contenido bastante más bajo de carbono y nitrógeno, requisitos importantes para mejorar la aptitud para el embutido y para el antienvejecimiento.

En los aceros de baja aleación, la investigación se va concentrando hacia un conocimiento más profundo de las características de resistencia a la fatiga, de la fragilidad de recuperación y sobre la posibilidad de obtener resistencia elevada con espesores decrecientes.

Usando la corriente práctica de fabricación del acero, pero nuevas técnicas de laminación, es posible producir laminados de medio espesor que tienen un límite más elevado de fluencia. Paralelamente, los procedimientos modernos de elaboración en el vacío, han permitido la solución de algunos problemas de resistencia a la fatiga y de tenacidad para las estructuras mecánicas que deben resistir mucho trabajo.

Después de 1960 se han abierto nuevas vías de desarrollo para la industria mecánica en el sector de los aceros de elevadas características mecánicas. Es de mencionar, en este campo, la posibilidad de aumentar la resistencia de los aceros de baja y media aleación, mediante tratamientos de endurecimiento secundarios y mediante tratamientos termo-mecánicos, y la posibilidad ofrecida por los aceros con níquel, cobalto, molibdeno, (llamados aceros de maraging).

Se han hecho progresos en el campo de la soldadura, particularmente en el campo de los aceros de elevada resistencia y grueso espesor. Para los aceros comunes, el standard cualitativo mejorado permite la ejecución de la soldadura con mejor fluidez y mayor margen de seguridad para el buen resultado de la operación.

La metodología perfeccionada de los controles no destructivos de los manufacturados va también colocada en el cuadro de los progresos de este reciente período de desarrollo.

Sobre el tema del desarrollo de los aceros de construcción para la industria mecánica en general, con características cualitativas y resistenciales siempre más elevadas, existe una serie de interrogativos. Por ejemplo: ¿hasta qué punto el empleo de los aceros de resistencia más elevada está económicamente justificado en relación a su costo y a las ventajas de construcción y de ejercicio? ¿Se utiliza siempre, de parte de los proyectistas, lo que un nuevo producto puede efectivamente ofrecer en la totalidad de sus características? En fin, es para preguntarse si la investigación particular en este determinado sector es suficientemente extensa como para preparar el camino al desarrollo de nuevos productos.

Al examinar las posibles respuestas que a dichos interrogantes fueran llamados a dar un mecánico o un metalurgista, se debe prever una diversidad muy amplia de opiniones aparentemente contrarias. Por eso mismo, aparece siempre más indispensable una estrecha colaboración entre productor y consumidor. Es indudable, en realidad, que el desarrollo de los nuevos aceros está subordinado a la existencia de un conocimiento suficiente de la metalurgia de base, pero también es cierto que la actitud de los proyectistas en la resolución de determinados problemas puede representar un importante incentivo en el progreso de los nuevos aceros.

Un buen conocimiento de los fenómenos metalúrgicos es de gran auxilio para los proyectistas para utilizar al máximo las características positivas que poseen los aceros especiales, evitando del mismo modo los fenómenos que pueden ser peligrosos. Un ejemplo característico está

dado por las estructuras soldadas con aceros de elevada resistencia: en este caso el proyectista debe abandonar las tradiciones adquiridas con los aceros dulces y adaptar la estructura a los nuevos aceros especiales.

En lo que respecta al costo de los aceros especiales, el proyectista debe tener en cuenta que un manufacturado más liviano, aún si más costoso en valor absoluto, puede traer ventajas económicas indirectas; por ejemplo, una caldera de colada para acero fabricada con acero especial, puede costar más en valor absoluto, pero tiene ventajas indirectas en la cantidad de acero que puede contener, o también en el proporcionamiento del carro puente y de las estructuras portantes.

El argumento de una colaboración estrecha entre los técnicos siderúrgicos y mecánicos, siempre debatido, llega a ser aún más importante en el empleo de los aceros especiales, y tiene importancia aún mayor en los nuevos aceros especiales. El uso de aceros de alta resistencia soldable ha estado retrasada por fracasos sufridos en la práctica que, en definitiva, dependían de un empleo inconveniente del acero, por culpa que no se sabe si atribuir al productor o al consumidor, pero que ciertamente debe atribuirse a una deficiencia del conocimiento recíproco.

Es una necesidad el intercambio de un recíproco conocimiento y ésto es ahora objeto de máxima atención en el campo de la preparación y renovación técnica del personal, y de las pruebas de aprobación y aceptación del material.

3. Tendencia en el desarrollo de los aceros para construcciones mecánicas.

En los últimos años la nota dominante en el desarrollo de los aceros para construcción ha sido la tendencia a realizar materiales con elevadísima carga de ruptura, superior a 150 kg/mm², no desligados de buenas características de ductibilidad, tenacidad, soldabilidad, y que tengan un costo conveniente.

El deseo de tales aceros nació, en primer lugar, en aquellos consumidores para los cuales la relación entre resistencia y peso es de máxima importancia, o sea la industria aeronáutica y balística. Pero no hay duda que si el empleo de los aceros con altísima resistencia tendrá éxito en estos sectores especializados, este éxito se extenderá también a otros sectores de la construcción mecánica, los cuales aparecen todavía más bien anclados en el uso de aceros tradicionales, que son también de elevada resistencia, pero con carga de ruptura menor a 150 kg/mm².

Los campos que pueden estar más interesados en la altísima resistencia de los aceros pueden actualmente catalogarse en los siguientes: sistemas avanzados de suspensión elástica, (barras de torsión, tenazas), utensilios para trabajar metales en frío y en caliente (estampados y similares), tornillos de alta resistencia, partes de aeromóviles (componentes de estructuras, puentes de aterrizaje, forjados varios), partes de máquinas para calado de terrenos, forjados de altísima resistencia, piezas espulsas y planchas delgadas para construcciones aeroespaciales, blindajes, armas de fuego, revestimiento de cohetes.

Un aspecto notorio de este tema es que, gracias a las nuevas teorías sobre la deformación y a los nuevos medios de investigación, los nuevos materiales no vienen desarrollados, como en el pasado, sobre bases substancialmente empíricas, sino que se están dando grandes pasos en la comprensión en sentido cuantitativo de los mecanismos elementales sobre los cuales descansan sus características tecnológicas. La influencia ejercitada en el fierro de algunos de estos mecanismos está ilustrada en la figura 2, la cual muestra la evolución del valor de la resistencia a la tracción en los varios estados de tratamiento, recordando el aún lejano valor de la resistencia ideal del retículo (de alrededor de 1500 kg/mm²) realizado hasta ahora solamente en monocristales de mínimas dimensiones (whiskers) sin utilización práctica.

Consideramos aquí rápidamente algunos aceros pertenecientes a nuevas familias que han sido recientemente definidas:

a) *Aceros mejorados sujetos a endurecimiento secundario.*

En un clásico acero mejorado la obtención de elevadas resistencias a tracción puede ser hecha sólo disminuyendo la temperatura de recuperación. Para obtener va-

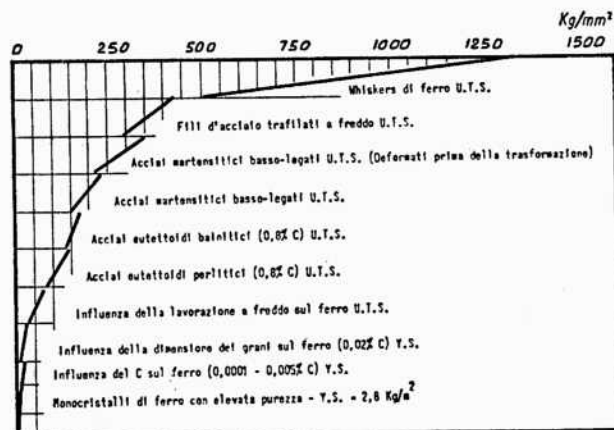


Figura 2. Gama de resistencia de los aceros.

CARGA UNITARIA DE DEBILITAMIENTO O RUPTURA

Whiskers di ferro U.T.S. = Whiskers de hierro; Fil d'acciaio trafilati a freddo U.T.S. = hilos de acero trafilados en frío U.T.S.; Acciai martensitici basso-legati U.T.S. (Deformati prima della trasformazione) = aceros martensíticos de baja aleación U.T.S. (Deformados antes de la transformación); Acciai martensitici basso-legati U.T.S. = aceros martensíticos de baja aleación U.T.S.; Acciai eutetoidi bainitici (0,8% C) U.T.S. = aceros eutécticos bainíticos; Acciai eutetoidi perlitici (0,8% C) U.T.S. = aceros eutécticos perlíticos; Influenza della lavorazione a freddo sul ferro U.T.S. = influencia del trabajado en frío sobre hierro U.T.S.; Influenza della dimensione dei grani sul ferro (0,02% C) Y.S. = influencia en el hierro de las dimensiones de los granos; Influenza del C sul ferro (0,0001-0,005% C) Y.S. = influencia del C sobre el Fe; Monocristalli di ferro con elevata purezza - Y.S. 2,8 Kg/m² = Monocristales de hierro de elevada pureza.

lores de resistencia del orden de 200 kg/mm² se requiere adoptar temperaturas de recuperación inferiores a 300°C y ésto impedirá en muchos casos el uso práctico de estos aceros. Usando en cambio el endurecimiento secundario producido por la precipitación de carburos de ciertos elementos durante la recuperación a la temperatura de 500-600°C, se puede obtener un nivel de resistencia a la tracción entre 160-220 kg/mm² sin temer que la resistencia sea alterada también por explotación a alta temperatura.

Los elementos preferencialmente usados con tal motivo son el molibdeno y el vanadio: la composición química de tres tipos de aceros de esta categoría es la siguiente:

Acero	C	Mn	Si	Cr	Mo	V
HST 100	0,40	0,60	0,35	3,00	1,00	0,25
HST 120	0,40	0,60	0,35	3,00	2,00	0,50
HST 140	0,40	0,60	0,35	5,00	2,00	0,50

La resistencia a la tracción que estos elementos son capaces de dar a la temperatura ambiente, son respectivamente de 160, 190 y 220 kg/mm². Un panorama más completo de sus cualidades se ofrece en la tabla 2, que muestra que los citados valores máximos de la resistencia se obtienen con considerable menoscabo del alargamiento de rotura. Tampoco los valores de tenacidad con la prueba convencional Charpy V son muy brillantes, pero ésto no impide que los aceros puedan ser empleados con éxito: por ejemplo, la figura 3 muestra una carcasa para motor que, en la prueba hidráulica se rompió de modo dúctil bajo una carga final de 213 kg/mm².

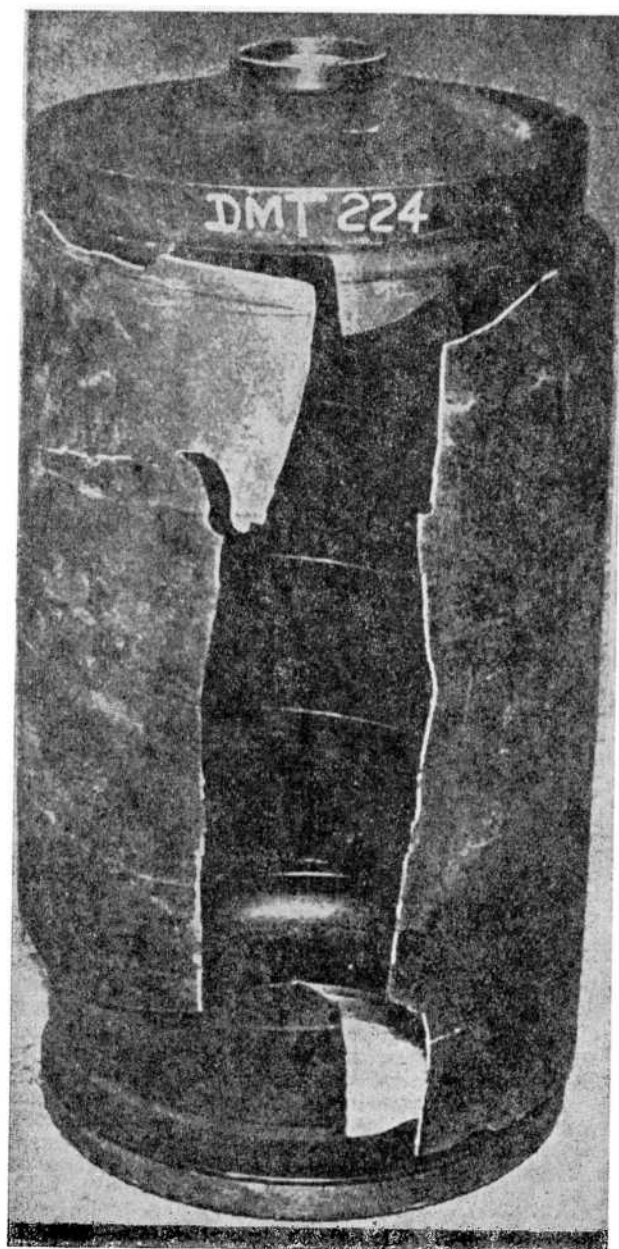
Requisito esencial de estos aceros de altísima resistencia es un grado de pureza tanto más elevado cuanto más alta sea la carga de rotura; se prevé, por lo tanto, que el proceso de fusión al vacío y con electrodo consumible será empleado siempre más extensamente para su fabricación.

b) *Aceros "maraging".*

Característica esencial de estos aceros, cuyo prototipo se remonta a 1960, no es tanto aquella de producir una carga de rotura particularmente elevada en comparación a los aceros reforzados por precipitación de carburos, como aquella de ofrecer una mayor tenacidad en iguales condiciones de resistencia, y de prestarse mayormente a

TABLA II — CARACTERISTICAS MECANICAS DE ACEROS SUJETOS A ENDURECIMIENTO SECUNDARIO

TEMPERATURA DE RECUPERACION (th)		400°C	450°C	500°C	550°C	600°C	650°C
HST 100	Carga de ruptura Tons/in²	112,5	109,9	108,9	106,2	97,5	85,1
	Solicitaciones Tons/in² después def. %						
	0,2	88,4	87,8	84,2	84,2	81,0	71,3
	0,1	83,0	83,6	79,1	75,5	75,0	67,8
	0,05	77,4	80,5	73,0	67,0	68,4	64,4
	0,02	59,6	77,0	64,8	57,8	60,9	58,8
	Alargamiento % su 4√A	16,0	16,6	17,7	19,1	20,2	20,8
	Estricción %	49,6	46,8	49,6	56,7	56,7	62,4
HST 120	Carga de ruptura Tons/in²	111,0	109,8	112,3	117,5	115,0	103,7
	Solicitaciones Tons/in² después def. %						
	0,2	84,9	83,3	83,7	81,5	87,5	82,3
	0,1	79,0	77,6	77,4	69,5	76,5	72,1
	0,05	74,7	72,8	72,5	58,6	65,8	57,9
	0,02	68,2	63,0	60,9	45,0	54,1	42,3
	Alargamiento % su 4√A	16,7	18,3	19,1	19,3	19,3	15,6
	Estricción %	46,8	43,4	46,8	53,2	61,0	43,3
HST 140	Carga de ruptura Tons/in²	130,9	132,1	130,1	144,9	137,3	101,2
	Solicitaciones Tons/in² después def. %						
	0,2	98,0	97,1	88,2	95,1	103,9	82,9
	0,1	90,1	85,7	82,4	79,0	89,1	75,6
	0,05	82,7	65,8	72,8	64,0	76,3	68,8
	0,02	74,7	47,4	44,7	51,0	61,9	57,3
	Alargamiento % su 4√A	16,0	16,6	17,7	19,1	20,2	20,8
	Estricción %	49,6	46,8	49,6	56,7	56,7	62,4



diversas operaciones. Se trata sustancialmente de aleación hierro-níquel con el agregado de elementos reforzantes como Ti, Mo, Co. El envejecimiento de la martenita de la cual deriva el nombre de estos aceros lleva a elevados valores de resistencia por la precipitación de compuestos intermetálicos.

Las dos composiciones químicas tipo aparecen en la table 3, junto a las correspondientes características mecánicas. Se concluye que las cargas de rotura no son más altas que las obtenidas en aceros normales mejorados con medio carbono, pero, como ya se ha dicho, la superioridad de los aceros "maraging" sobre aquellos tradicionales emerge apenas se considera las características de tenacidad.

Otra ventaja de los aceros "maraging" sobre aquellos tradicionales, es debida a la relativa simplicidad del tratamiento térmico. De hecho, si para construir una cierta pieza mecánica se usa un acero tradicional de medio carbono templado y revenido, el tratamiento que confiere a la pieza la característica final de resistencia implica una austenización a alta temperatura; se eliminan distorsiones y otros inconvenientes que implican un trabajo sucesivo y consistente para las maquinarias. Si en cambio se usa un acero "maraging", la pieza puede ser ejecutada en caliente y enfriada al aire para cualquier espesor, obteniéndose directamente las condiciones estructurales adecuadas al tratamiento final de envejecimiento a baja temperatura; ésto minimiza las dificultades ya mencionadas y, por lo tanto, el sucesivo trabajo mecánico. Se ha afirmado a este propósito, que la mayor simplicidad del proceso sería tal, en muchos casos, que compensaría el elevado costo del material de partida; pero, por ahora, se tienen solamente ejemplos de aplicación en campos muy especializados, como se indica en las figuras 4 y 5.

c) Aceros "ausformados".

Como se vió anteriormente, muchas búsquedas de nuevas fórmulas y nuevos procedimientos están orientadas al problema de obtener elevada tenacidad y plasticidad del acero en el campo de la resistencia a tracción elevadísima; con los aceros mejorados normales se podía en efecto obtener valores elevadísimos de resistencia, pero acompañados de valores bajos de parámetros cualitativos.

La "ausformación" trajo una contribución en este campo, utilizando la transformación de la austenita en condiciones particulares. De hecho se considera, ante todo, que la austenita presenta datos particulares de deformabilidad y maleabilidad, por lo cual puede ser fácilmente

Figura 3. Carcaza para un motor, roto en forma dúctil bajo una carga final de 213 Kg/mm².

TABLA III — PROPIEDADES MECANICAS DE DOS TIPOS DE ACERO, A Y B.

	ACERO A		ACERO B	
	% Ni 17+19; Co 7+8.5; Mo 4,6+5; Ti 0,3+0,5		% Ni 18+19; Co 8,5+9,5; Mo 4,6+5,2; Ti 0,5+0,8	
	Límite elástico Recocido	175 kg/mm ² "MARAGED"	Límite elástico	210 kg/mm ² "MARAGED"
Dureza HRC	28 + 32	50 + 52	53 + 55	53 + 55
Carga de debilitamiento tons/in ²	42 + 52	104 + 118	132 + 136	127 + 143
Carga de ruptura tons/in ²	62 + 67	107 + 122	134 + 138	129 + 145
Alargamiento %	17 + 19	10 + 12	12	6
Estricción %	70 + 75	45 + 60	60	—
NTS, tons/in ²	—	155 + 172	190 + 200	96 + 14
NTS/TS	—	1,35 + 1,55	1,4 + 1,5	0,75 + 1,0
Repulsa, Ft lb	—	15 + 27	16	0,75 + 1,0
Tenacidad tons/in ² x in 1/2	—	35 + 65	—	25 + 50

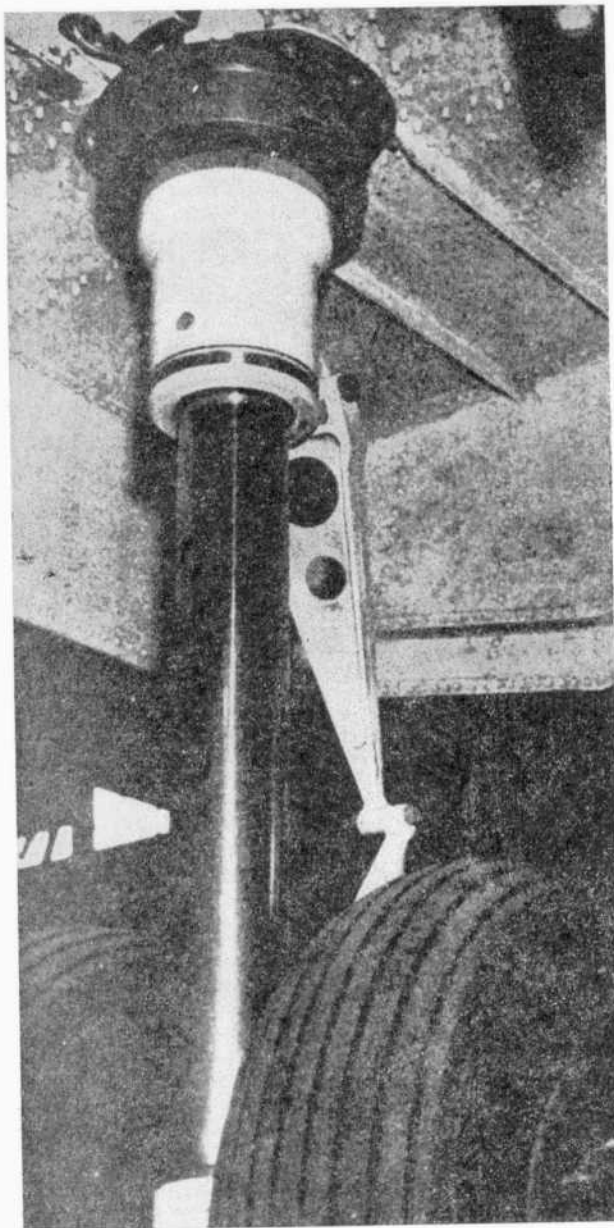


Figura 4. Tren de aterrizaje de helicóptero.

sujeta a trabajos aún tecnológicamente complejos. Por otra parte sucede que la deformación en una fase austenítica puede inducir una primera precipitación de carburo de la fase sobresaturada. El enfriamiento necesario de la estructura deformada lleva a la formación de martensita que, gracias a una precedente precipitación de carburos, presenta características de ductilidad muy buenas.

Para mantener la fase austenítica durante el trabajo y obtener la fase martensítica después del templado, es necesario dar al acero una composición determinada, agregándole elementos determinados que alargan el dominio austenítico.

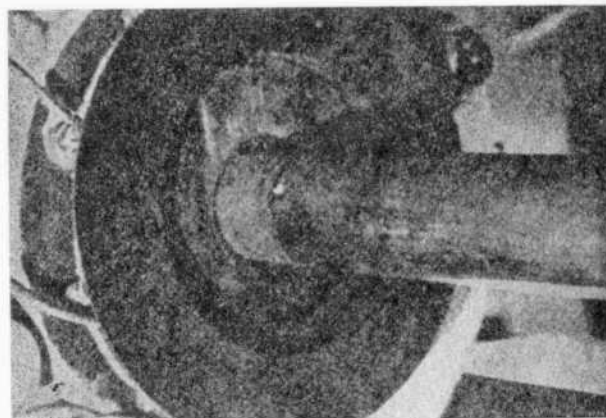


Figura 5. Punzón de expulsión para una pieza de 800 toneladas.

Como ejemplo, se da la composición química de tres aceros de respectivamente baja, media y alta aleación:

Tipo	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	V
En 30B	0,30	0,25	0,45	4,00	1,3	—	—
H 11	0,40	1,00	—	—	5,00	1,30	0,50

Vasco Ma 0,55 + 12% (Cr, Mo, W, V).

La posibilidad de poder moverse dentro de intervalos de composición química tan vastos, y, por lo tanto, la posibilidad de usar entre los más variados tipos de tratamientos termomecánicos, está en relación con la energía de formación característica de los carburos de los diversos elementos.

Para cada aleación se obtendrán diversos valores de tenacidad dependientes del grado de deformación plástica y de la temperatura a la cual sucede esta transformación. Por otro lado, se necesita recordar que hay una cierta influencia ejercida por dicha temperatura antes y después de la deformación plástica.

Se puede considerar que con este procedimiento se puede obtener un incremento de alrededor de 50 kg/mm² en las características de resistencia respecto a los mismos aceros tratados según los esquemas clásicos. Por ejemplo, para el acero H₁₁ se pueden alcanzar cargas de rotura del orden de 280 kg/mm² con deformaciones de cerca de 90% y para temperaturas de deformación de 450-500°C.

Están también en curso estudios muy delicados para obtener un mejor conocimiento general de estos fenómenos, basados en conocimientos apropiados, para preparar la introducción al mercado de los nuevos aceros sobre bases inicialmente sólidas.

d) Aceros para uso en caliente.

En los últimos veinte años se ha verificado una fuerte expansión de las aplicaciones en el campo de las altas temperaturas. Las condiciones de ejercicio con las cuales se utilizan los aceros de uso en caliente, están siendo con el tiempo cada vez más severas. La temperatura de las instalaciones a vapor ha ido aumentando, pasando de los 450° de después de la guerra, a valores próximos a los 600°C. Esto ha requerido, por un lado, el desarrollo de nuevos aceros y, por otro lado, una información más vasta sobre las características mecánicas a largo plazo.

De parte de los consumidores se ha manifestado la tendencia a usar aceros típicos, ampliamente experimentados en la práctica y suficientemente definidos en sus propiedades, para ser asumidos como base de proyectos.

Por esta razón la demanda de nuevos tipos de acero no es muy urgente y los mecánicos piden, en cambio, datos más extensos y dignos de consideración sobre los aceros ya existentes. Se tiene, de hecho, la sensación de que éstos no son siempre utilizados según sus posibilidades, ya sea por las dificultades que se encuentran al definir las propiedades en caliente, por las fuertes limitaciones impuestas por el pliego de condiciones, o por la falta de teorías dignas de consideración sobre el comportamiento del conjunto bajo solicitaciones.

Los tipos de acero para resistencia al calor cubren una vasta gama que va de los aceros al carbono-manganeso, a los aceros aleados al cromo-molibdeno, hasta los aceros austeníticos. Para temperaturas superiores a los 625°C, también los aceros austeníticos muestran características de fluencia inadecuadas. Un acero austenítico de alto contenido de manganeso, denominado Essehete 1250, desarrollado en Gran Bretaña, muestra características de fluencia más elevadas.

Datos relacionados con la fluencia en tipos característicos de acero, comprendidos en la gama ya dicha, aparecen en la figura 6, la cual indica los valores de la sollicitación a la rotura después de 100.000 horas, para varias temperaturas de uso (según los datos del British Steelmaker Creep Committee).

La determinación de estos valores a largo plazo presenta dificultad también, porque ellos son obtenidos a partir de procedimientos no homogéneos, y, por lo tanto, están sujetos a fuertes dispersiones: la fig. 7 muestra cómo tales datos varían de un país a otro, y con el tiempo, con el perfeccionamiento de la estimación de las propiedades.

Actualmente, se está haciendo mucha investigación relacionada con la reducción de la banda de dispersión y la adopción de métodos de extrapolación homogénea. A medida que los datos de escurrimiento se hacen más numerosos y relativos a tiempos más largos, aumenta la tendencia de reducir los coeficientes de seguridad usados para determinar la sollicitación permitida en proyecto. Con este propósito se considera que, de la experiencia, ha aparecido que las rupturas más frecuentes se han verificado por deficiencia de capacidad de alargamiento; por consecuencia, está adquiriendo cada vez más importancia el problema de la ductilidad de los aceros en el escurrimien-

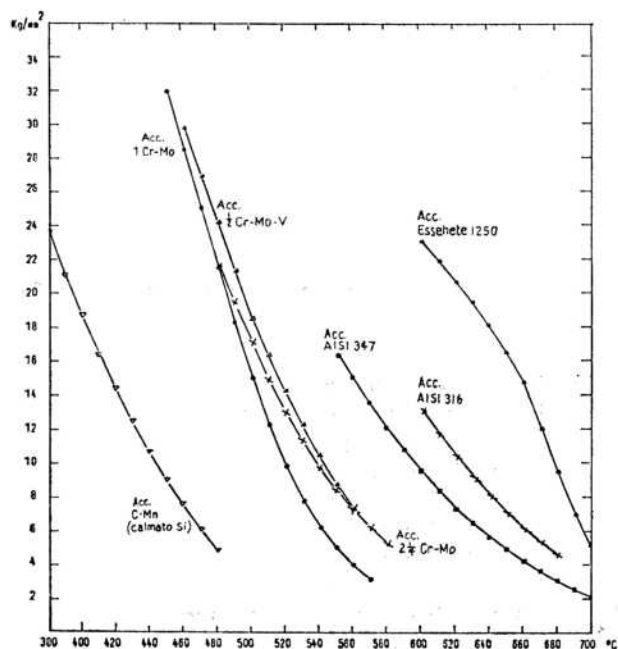


Figura 6. Sollicitación para la ruptura en 100.000 h de algunos aceros para empleo en calor.

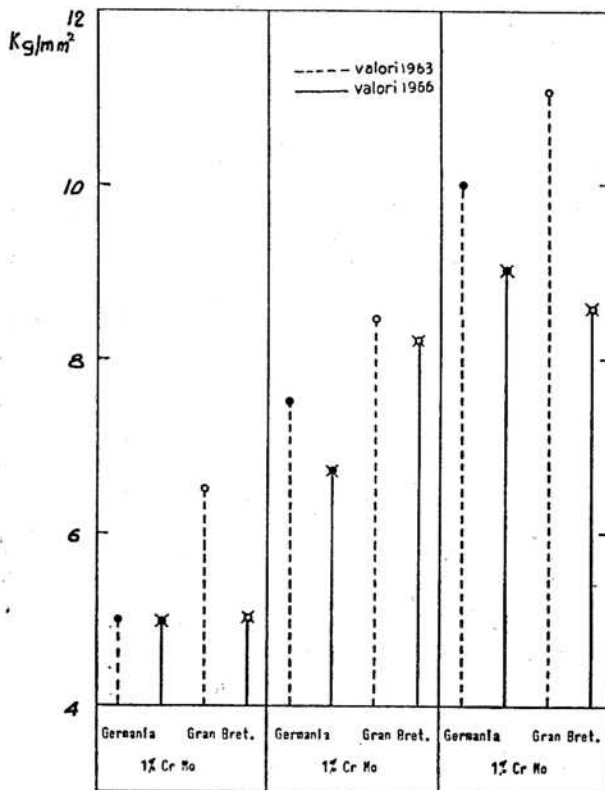


Figura 7. Comparación entre los valores de la sollicitación para la ruptura en 100.000 h, publicados en 1963 y en 1966. Sollicitación para la ruptura en 100.000 h a 550°C. Alemania = Alemania.

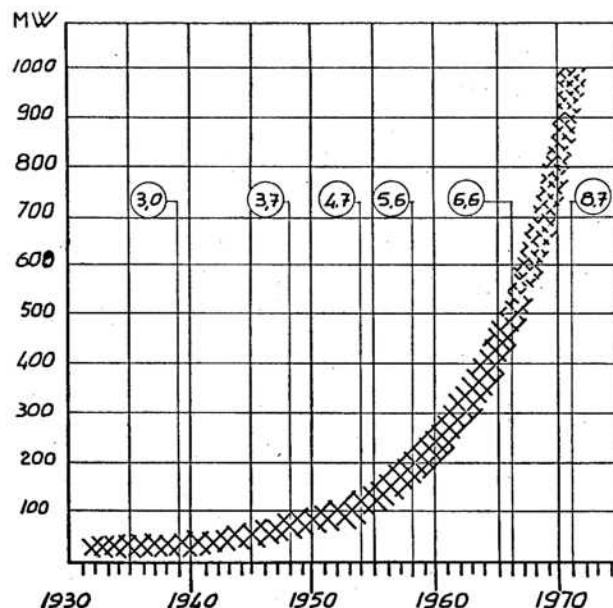


Figura 8. Potencia establecida en función del tiempo. Los números en círculos son las potencias específicas en MW por tonelada de forjado. Este diagrama se trazó para motores de generadores, pero puede dar idea del desarrollo en el tiempo de los motores para turbinas.

to. En caracteres generales, se están efectuando investigaciones sobre el conocimiento fundamental de los mecanismos que gobiernan los fenómenos de fluencia, para el desarrollo de nuevos tipos de acero para uso en caliente; desarrollo que actualmente está aún ampliamente basado en la intuición de los que trabajan el acero.

En el campo de los aceros resistentes al calor, se deben considerar aquellos para forja destinados a motores de turbina a vapor. Este determinado sector se caracteriza por las grandes dimensiones de los manufacturados y por la severidad de los exámenes periciales cualitativos, lo que lleva a la necesidad de resolver grandes problemas metalúrgicos y tecnológicos.

Los productos forjados para turbinas a vapor nos dan ocasión de generalizar el razonamiento para poder hablar de los grandes productos forjados para motores, que comprende, fuera de aquellos para turbina, también aquellos para generadores. Las dimensiones de estos tienden a crecer progresivamente, fig. 8, para bajar el costo de Kilo-watt hora; la siderurgia especial está haciendo desde hace años un esfuerzo continuo para adaptarse a los requisitos de los proyectistas electromecánicos, y se puede decir que hasta ahora no ha traicionado las expectativas, mereciendo el título de auténtica protagonista del progreso en este determinado sector de la industria mecánica.

Es bastante notorio que en la historia del desarrollo de las piezas forjadas para motores, hubo un período oscuro que desanimó a los proyectistas, los cuales sintieron la

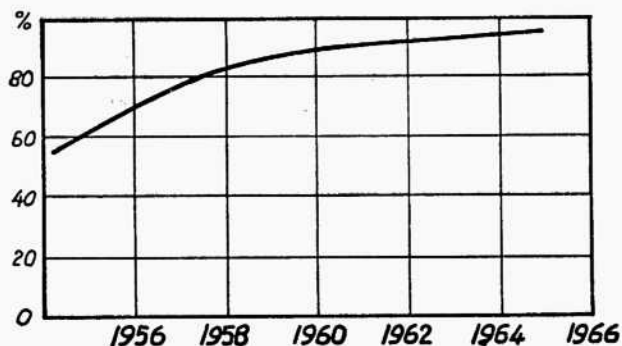


Figura 9. Porcentaje de forjados para motores, completamente carentes de indicaciones ultrasonoras, entre aquellos sometidos a pruebas y considerados satisfactorios. Este diagrama refleja la situación italiana, que es sí, sustancialmente coincidente con la situación mundial.

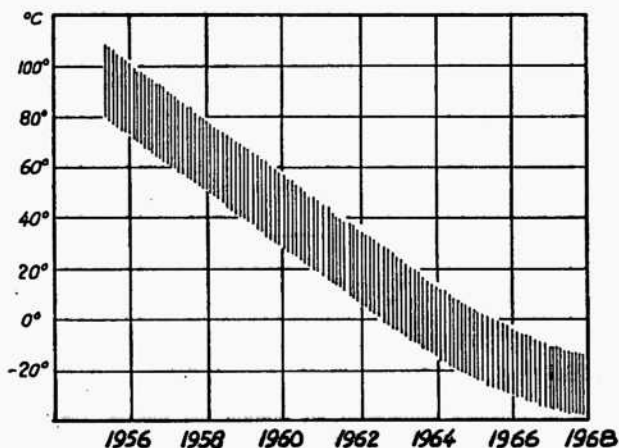


Figura 10. Temperatura de transición FATT (Aparición de fractura) del acero para motores generadores.

duda de haber rebalsado peligrosamente las "columnas de Hércules" de la técnica, pidiéndole al acero más de lo que podía dar. Nos referimos a los años 1954-1956 que presenciaron en América la explosión, durante la prueba o en servicio, de cinco motores. Y esto sucedía justo en el momento en el cual la curva del diagrama de producción de energía eléctrica mundial se hacía más escarpada y mientras todos los esfuerzos estaban dirigidos, bajo el empuje de las leyes económicas, a aumentar los rendimientos de las máquinas y las potencias unitarias.

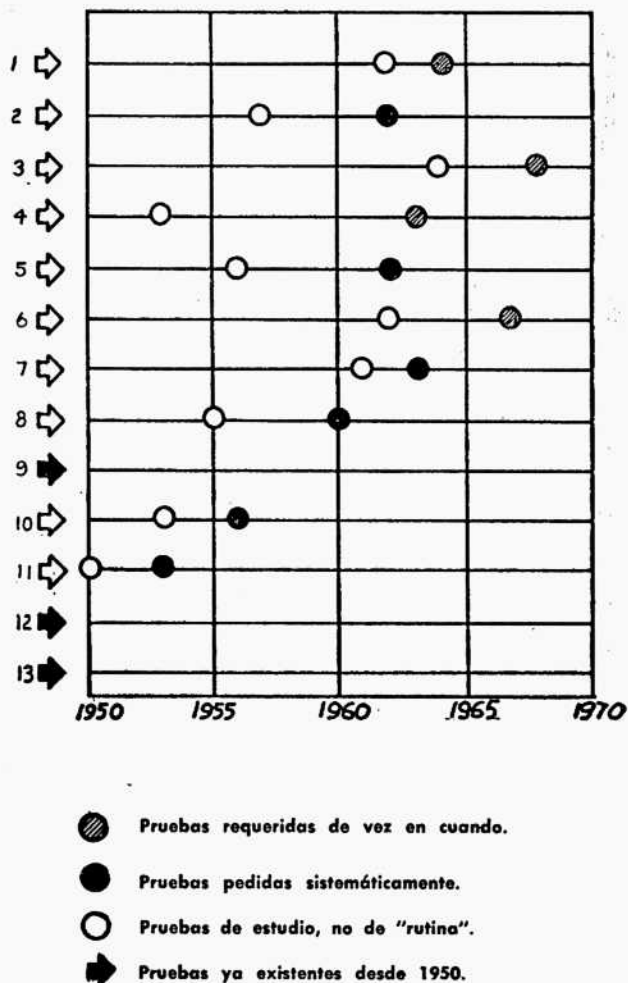


Figura 11. Evolución en el tiempo de las pruebas para aprobar el material.

- 1) Control de antimonio;
- 2) Prueba FATT sobre el eje;
- 3) Pruebas mecánicas radiales sobre el eje;
- 4) Pruebas de escurrimiento;
- 5) Pruebas mecánicas long. sobre el eje;
- 6) Ultrasonido de la abertura;
- 7) Examen magnético;
- 8) Prueba FATT externa;
- 9) Prueba de estabilidad térmica;
- 10) Pruebas mecánicas internas longitudinales;
- 11) Ultrasonido externo;
- 12) Examen visual del orificio;
- 13) Prueba mecánicas externas.

No todas las explosiones dependieron de causas metalúrgicas, pero, de todos modos, se reconoció que el acero no era ya adecuado para las nuevas exigencias de los proyectos; que algunos defectos no podían ser ya tolerados, que las propiedades cualitativas específicas debían ser cambiadas y que los exámenes debían estar hechos bajo nuevas bases.

Pero el progreso del desarrollo de la unidad productora de energía eléctrica no tuvo interrupción, porque en el giro de pocos años se cumplieron sorprendentes mejoras cualitativas del acero y se colocaron las bases para un ulterior progreso cualitativo que aún no ha terminado.

El mérito fundamental de este progreso cualitativo se atribuye a la introducción de la colada al vacío en la fabricación de grandes lingotes para forja y al uso del ultra sonido que han inspirado precauciones que han beneficiado la calidad, alentando también las inversiones industriales en el campo de las instalaciones. El progreso llevado a cabo en la integridad interna de los forjados para motores está documentado en la figura 9, mientras que aquellos llevados a cabo en el sector de la temperatura de transición están ilustrados en el diagrama de la fig. 10.

La evolución en el tiempo de las pruebas y de los exámenes para aprobación está ilustrada en la fig. 11. Se ve que hasta 1950 las únicas pruebas para aprobación de las piezas forjadas para motores consistían en la verificación de las características mecánicas externas, en el examen mediante periscopio del orificio axial, y en las pruebas de estabilidad térmica cerca del fabricante; sucesivamente aparecieron las pruebas ultrasonoras, las pruebas mecánicas internas efectuadas mediante profundos orificios radiales, y la temperatura de transición, hasta los actuales controles analíticos de algunas impurezas como el antimonio.

Es difícil hacer un cuadro de las necesidades futuras de la electromecánica, porque son diferentes las líneas a lo largo de las cuales se mueven los diversos proyectistas; de cualquier modo, de aquello que se puede saber, hasta las potencias de 700-800 MW, se le requerirá al acero características que la siderurgia puede satisfacer desde ya. Para los motores de las turbinas a bajas presiones, se podrán requerir forjados de 60-85 toneladas con diámetro de 1600-1800 mm, y con valores del límite de fluencia de 70 kg/mm².

Para los motores de alta presión parece que la temperatura del vapor no supera los 550-565°C y, así, se podrá aún emplear el conocido acero al cromo-molibdeno-vanadio. A propósito de esto se dice que, aún cuando la temperatura del vapor no sufre variaciones notorias, se siente, para los motores de alta presión, la necesidad de materiales de más alto límite de fluencia; por esto en los Estados Unidos se han renovado los estudios sobre el acero inoxidable al 13% de cromo, tendientes a permitir más elevadas sollicitaciones durante el uso.

Para la unidad de un futuro más lejano, más allá de 1970, se hace más difícil hacer un cuadro suficientemente claro y seguro. Se trata de la unidad de más de 1000 MW; las dimensiones y las características mecánicas de los motores serán tales, que irán más allá de aquello que la siderurgia puede dar hoy. Se está pensando en soluciones nuevas.

Para los motores de baja y media presión, estarán excluidas las soluciones consistentes en discos ensamblados en un eje, debido a las sollicitaciones prohibitivas sobre los orificios axiales de unión. Se van imponiendo las soluciones de soldaduras; los motores de baja presión estarían constituidos por discos de diámetro de alrededor de 2 metros, moldurados en perfiles de resistencia uniforme, con espesor máximo de 500 mm sin orificio axial, con valores del límite de fluencia de 90 kg/mm² aproximadamente y temperatura de transición de algunas decenas de grados bajo la temperatura ambiente. Estos discos estarían soldados entre sí a lo largo de las salientes anulares de espesor de 100 mm aproximadamente, con un diámetro de $1/2 + 2/3$ del diámetro máximo del disco. La

posibilidad práctica de este tipo de construcción ha sido demostrada, y existen ya algunos interesantes estudios al respecto.

Para la fabricación de lingotes muy gruesos, de más de 150 toneladas, se está pensando en las posibilidades ofrecidas por el procedimiento de fusión bajo escoria, para reducir la segregación y la no homogeneidad química, abriendo vastas posibilidades, y ciertamente en grado de cubrir la necesidad de los electromecánicos por algunos decenios.

4. El fenómeno del aligeramiento.

La disponibilidad de acero de mejor y controlado standard cualitativo, de más elevadas características de resistencia, y el perfeccionamiento de la proyección con el uso de productos que correspondan cada vez más a las necesidades de las utilizaciones específicas, han permitido a las industrias de conversiones emplear productos generalmente menos pesados que aquellos tradicionales.

Tal aligeramiento ha traído casi siempre una notable economía de costo, y esto ha representado un factor de desarrollo para el uso del acero, haciéndolo reemplazar también a otros materiales más costosos. La reducción de los consumos específicos debe constituir un conocimiento necesario para formular la previsión sobre el comportamiento, ya global o por sectores, de la demanda de productos siderúrgicos.

Con este propósito se refieren algunos datos relativos a la experiencia italiana de los últimos 15-20 años, que puede ser representativo también de la evolución de otros países del mismo estado tecnológico.

El consumo de acero para autos que tienen las mismas características ha disminuído en más de un 20% a consecuencia de la evolución de la modelística y a la disponibilidad de acero de mejor calidad y características idóneas.

El espesor de la plancha delgada de carrocería, que veinte años atrás era de 0,9 — 1,2 mm, es hoy de 0,6 — 0,9 mm; el espesor de las vigas de los vehículos industriales ha pasado de los 10 — 12 mm. a los 6 — 7 mm.

En el campo de la carpintería metálica se puede estimar una reducción de peso de cerca del 20%, como consecuencia de adecuadas normas de cálculo, especialmente en el campo de la carpintería especial ligera, y de la sustitución de algunos manufacturados fundidos con estructuras soldadas más ligeras.

En el campo de los recipientes a presión, que pueden disfrutar plenamente de las características resistenciales de los aceros especiales, se ha obtenido una reducción de peso de alrededor del 30%.

En el sector de las máquinas eléctricas, el mejoramiento cualitativo de las características de los aceros especiales y, en particular, de las planchas delgadas magnéticas, han permitido a los constructores reducir sensiblemente la cantidad del acero. Esto ha estado también facilitado por la orientación a realizar instalaciones eléctricas de altísima potencia y por las posibilidades ofrecidas por la técnica siderúrgica de construir más grandes forjados para motores, de alta calidad, fabricado al vacío, concentrando así gran potencia en una sola máquina. La reducción del consumo específico de acero puede ser estimada en cerca de un 15%.

El único sector en el cual se ha verificado un aumento en los consumos específicos es aquel de los rieles de ferrocarril. Para consentir una velocidad más elevada, hoy, un riel tiene un peso de 50-60 kg/metro contra los 40-45 kg/metro de después de la guerra.

Resumiendo, el fenómeno del aligeramiento, que ha estado sucediendo en Italia en los últimos 15-20 años, considerando cuanto ha sucedido también en otros sectores, como aquel de la construcción en concreto armado y de los utensilios domésticos eléctricos, ha llevado a un índice medio de reducción del uso del acero de cerca de un 25%.

TABLA IV — COMPARACION ENTRE LAS PRINCIPALES PROPIEDADES DE OTROS MATERIALES RESPECTO AL ACERO.

Propiedad	Materia Plástica	Ordinario	Vidrio	Fibro-cemento	Cemento (no armado)	Madera
Resistencia al alargamiento	Generalmente más débil, pero puede ser dejada igual o 2 ó 3 veces más elevada por la presencia de una armadura	De 1.5 a 2 veces más débil	De 10 a 15 veces más débil	Generalmente más débil, pero puede ser igual o 2 veces más elevada.	De 20 a 40 veces más débil	De 10 a 20 veces más débil
Plasticidad al alargamiento	Más elevada o más débil	Igual o ligeramente más elevada	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna
Resistencia a la compresión	De 5 a 10 veces más débil	De 2.5 a 4 veces más débil	De 20 a 100 veces más débil	Generalmente más débil, pero puede ser igual	De 5 a 15 veces más débil	De 10 a 20 veces más débil
Módulo de elasticidad	De 120 a 4,000 veces más débil pero con una armadura de 2 a 40 veces más débil	3 veces más débil	2.5 veces más débil	2.4 a 1.5 veces más débil	De 16 a 18 veces más débil	más débil
Densidad	De 4 a 8 veces más débil	3 veces más débil	De 2 a 3 veces más débil	De 2 a 3 veces más débil	De 3 a 3.5 veces más débil	De 10 a 16 veces más débil
Resistencia a la corrosión (atmosférica)	más elevada	más elevada	Sensiblemente más elevada	Sensiblemente más elevada	Más elevada	más débil
Resistencia al calor	Sensiblemente más débil	más débil	más débil	más elevada	más débil	Sensiblemente más débil
Resistividad:					Más débil, pero en casos particulares puede ser igual o más elevada	
—térmica	más elevada	más elevada	más elevada	más elevada	más elevada	más elevada
—eléctrica	más elevada	más elevada	más elevada	más elevada	más elevada	más elevada
Conductibilidad:						
—térmica	más débil	más elevada	más débil	más débil	más débil	más débil
—eléctrica	más débil	más elevada	más débil	más débil	más débil	más débil
Maneabilidad	Sensiblemente mejor	mejor	menos buena	menos buena	menos buena	Sensiblemente mejor

Se ha dicho ya que, gracias a los modernos procedimientos de fabricación del acero, a las grandes dimensiones de las modernas instalaciones siderúrgicas, al desarrollo de la producción y también por una excesiva interpenetración de mercado entre los países siderúrgicos, se ha tenido, en estos últimos años, una disminución gradual de los precios de los productos siderúrgicos. Esta evolución técnica y económica ha beneficiado a la industria de transformación del acero, tanto que los costos unitarios de importantes productos, especialmente del sector de la construcción de carpintería, tal como paredes, techos, etc., han sufrido, en el período de 1946 hasta hoy, una reducción de hasta 40%.

Se puede decir que el aligeramiento de muchos productos y el favorable comportamiento de los precios han sido dos factores fundamentales que han estimulado el empleo de los productos siderúrgicos, ya sea en los sectores tradicionales o en los nuevos campos de aplicación, valorizando la superioridad económica, fuera de la tecnológica, del acero respecto a los materiales que le hacen competencia.

5. Materiales competitivos.

La posibilidad de sustituir el acero por otro material está estrechamente ligada con las principales características tecnológicas que, unidas a las consideraciones de carácter económico, llevan a los únicos criterios válidos para expresar un juicio de elección.

Una visión sintética de las principales características de los materiales que en ciertos casos pueden sustituir al acero aparece en la tabla 4, en la cual tales características están comparadas con las del acero común de gran consumo comercial. Por otra parte, en lo que respecta al aluminio, se anotan las cifras que indican, para el año 1963, la relación porcentual entre los consumos per cápita de este material y aquellos del acero:

Japón	0,98 %
Estados Unidos	2,23 %
Reino Unido	1,62 %
Alemania	1,17 %
Francia	1,59 %

En los países en los cuales está muy desarrollada la industria automovilística, el aluminio es prevalementemente usado en este campo en sustitución del acero, mientras que en los países con una industria automovilística escasamente desarrollada, el empleo del aluminio en sustitución del acero se hace preferentemente en construcción de edificios y en la construcción industrial, principalmente como material de protección de revestimiento y para ménsulas empotradas.

TABLA V — CONSUMO APARENTE DE MATERIAS PLASTICAS EN LOS DIVERSOS PAISES EN 1955, Y DE 1958 A 1964.

PAISES	1955-1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964
AUSTRIA	1.6	4.9	7.0	8.6	10.4	11.6	12.7
BELGICA	3.0	5.5	7.0	8.4	12.1	14.5	15.7
LUXEMBURGO	3.4	—	—	11.8	13.3	16.1	—
DINAMARCA	2.6	5.4	5.6	7.4	7.9	9.7	10.9
FRANCIA	1.7	3.0	4.1	5.0	6.8	8.3	10.2
ITALIA	1.4	—	—	—	8.4	—	10.6
JAPON	4.0	7.7	7.1	9.0	10.0	11.8	13.3
NORUEGA	3.2	5.6	6.1	9.1	9.7	10.6	10.6
PAISES BAJOS	0.5	1.1	1.3	0.7	2.0	0.8	1.1
PORTUGAL	—	0.9	1.0	1.2	1.7	2.6	3.6
ESPAÑA	5.9	8.6	9.9	11.0	12.8	14.4	17.3
SUECIA	—	5.1	6.3	10.4	12.8	14.5	15.8
SUIZA	4.8	6.2	7.6	9.5	8.5	10.2	11.5
GRAN BRETAÑA	9.8	9.2	11.6	10.7	14.4	17.2	19.1
EE. UU.	5.6	9.4	12.2	15.0	14.3	18.3	20.2
ALEMANIA OCC.	—	—	—	—	—	—	—

En la tabla 5 aparece el consumo per cápita de material plástico en los diversos países y en diversos años. La relación porcentual entre el consumo per cápita de estos materiales respecto al acero es más elevado que para el aluminio.

Japón	4 %
Estados Unidos	3,59 %
Reino Unido	2,90 %
Alemania	3,75 %
Francia	3,15 %

Y se prevee una ulterior expansión en el empleo de los productos plásticos en sustitución del acero; de hecho en USA se piensa que en 1970 el 7% de la producción de acero podrá ser sustituida por éstos materiales. En particular, un estudio llevado a cabo por D. S. Smith y Adamson lleva a preveer que en el campo automotriz se llegará a usar, en 1978, cerca de 85 kg. de materias plásticas para las carrocerías de los automóviles, contra los actuales 40 kg.

Esto no obstante, es presumible que, con la profundización del conocimiento científico y con el progreso tecnológico, el acero, más que sufrir una competencia de parte de los otros materiales, podrá ser integrado válidamente a ellos en productos mixtos; de hecho, en los Estados Unidos, ya en 1960, fueron empleadas 250.000 toneladas de acero recubierto de sustancias plásticas, y esta cifra, en 1966, ha subido ya a más de un millón de toneladas.

6. Sinterizados de Hierro.

Si se acentúan casos particulares, el empleo de sinterizados ferrosos en la industria mecánica está dictado generalmente por razones de costos; de hecho, las características mecánicas convencionales y el alargamiento en particular resultan casi siempre inferiores a aquellos de los correspondientes productos obtenidos por otras vías.

Para difundir racionalmente el empleo de estos materiales, es necesario un contacto siempre mayor entre productores y proyectistas, para individualizar todas las posibilidades de valorización de los productos sinterizados, potencialmente muy económicas, también porque del coloquio pueden surgir ya sea nuevas direcciones como determinaciones de requisitos esenciales de calidad, limitando los cuales se pueden conseguir sustanciales reducciones de costo.

Las aplicaciones de los sinterizados de hierro en la industria mecánica se consideran aún muy limitados; los principales factores que determinan dichas aplicaciones son: el costo, las características mecánicas, las dimensiones, la forma y el número de las piezas requeridas (la cantidad mínima es generalmente de 10.000 piezas).

Los principales sectores industriales interesados en la aplicación de los sinterizados de hierro son el automovilístico, motociclístico, de las máquinas de oficina, de las armas, cerraduras, artículos domésticos eléctricos, para partes como cojinetes simples y autolubrificantes, pequeños engranajes, asientos de válvulas, bandas elásticas, pequeños moldes para instrumentos de precisión. Precisando más, la industria automovilística y la productora de artículos domésticos, son las mayores consumidoras de sinterizados de hierro; en estos sectores los pedidos aumentan continuamente, ya que se trata de aplicaciones en gran escala en las cuales se busca la economía y la funcionalidad de los elementos. Los sinterizados responden a estos requisitos ya que permiten el mínimo empleo de material y la realización de perfiles complejos a bajo costo de producción.

Son típicas las aplicaciones que se tienen en la industria de las cerraduras y en las bombas de aceite; los engranajes aún en forma compleja y helicoidal, están siempre encontrando mayor campo de uso; los cojinetes autolubrificantes encuentran gran uso en la industria automovilística. Los aceros sinterizados son muy usados en las máquinas textiles y en las máquinas calculadoras, para piezas a veces muy menudas, de forma compleja, para las cuales se requiere elevada resistencia al desgaste. Con polvo de acero inoxidable se produce una gran cantidad de tornillos y pernos menudos.

La producción de polvos y sinterizados de hierro está en rápido incremento; la evolución del consumo de los Estados Unidos está sinterizada en los siguientes datos:

Años	Polvos de hierro	Sinterizados de hierro
1950	10.000 t	2.000 t
1960	30.000 t	18.000 t
1966	100.000 t	60.000 t

y se piensa que para 1970 la producción de polvos de hierro subirá a más de 200.000 toneladas por año.

La tendencia es aquella de producir piezas unitarias de peso siempre mayor bajo líneas automatizadas, lo que contribuirá en gran medida a estimular la demanda de sinterizados, ya sea en el campo de consumo ya adquirido, o en nuevos campos.

En la colaboración entre fabricantes, proyectistas, consumidores están las muy grandes posibilidades industriales de los sinterizados de hierro, conectados a mercados siempre más activos y a bajo precio de productos de gran consumo, tales como aquellos de las industrias mecánicas ya mencionadas.

Al progreso de la metalurgia de los sinterizados ferrosos podrá contribuir en modo determinante la preparación de nuevas técnicas calificadas, a las cuales se deberá confiar la valorización de todas las posibilidades ofrecidas por la metalurgia de los polvos, sea en el campo metalúrgico, sea en el campo de la construcción de máquinas. A la investigación se le confió la importante tarea de superar las actuales barreras que limitan, por un lado, las características de los sinterizados, y, por otra parte, la difusión industrial de técnicas avanzadas, tales como la sinterización bajo vacío, que pueden llevar a nuevos niveles de calidad y a nuevos productos.

Una de las matas cualitativas más inmediatas es la de alcanzar intervalos de resistencia comprendidos entre 80-100 kg./mm² con adecuados valores de alargamiento.

Hasta nuestros días, ha sido característica de la fabricación de sinterizados de hierro la producción de perfiles terminados, listos para las diferentes aplicaciones; se proyecta para el futuro de la metalurgia de polvos, un desarrollo en la fabricación de semiproductos para emplear en la producción de planchas, planchas delgadas, cintas, tubos, alambres y otros productos, especialmente a partir de polvos consolidados, mediante procesos de laminación y expulsión. De tal modo se llegará económicamente a la fabricación de productos típicos de la siderurgia tradicional, evitando la fase relativa a la fusión; la metalurgia de los polvos y de esponjas ferrosas así a formar parte de los procesos metalúrgicos fundamentales.

BIBLIOGRAFIA

1. Gazzetta Ufficiale delle comunità Europee — 30.12.1966.
2. High-Strength Steel — BISRA Special Report — May 1962.
3. High alloy Steel — Special Report — ISI — 86.
4. C. SCHABTACH et al. — Report of the investigation of two generator rotor fracture — ASME Trans. Vol. 78 N.o 7/10, 1956.
5. R. DE. FOREST et al. — Investigation of the generator rotor burst at the Pittsburgh Station of the Pacific Gas and Electric Co. ASME Paper 57 — PWR 12, 1957.
6. H. D. EMMERT — Investigation Large Steam Turbine Spindle Failure — ASME Trns. Vol. 78 — N.o 7/10, 1956.
7. A. D. SCHAEFER — Work of the Task Group on brittle failure of steel forgings — ASME Trans. Vol. 78 — Ott. 1956.
8. R. M. CURVAN — The history of Special ASTM Task Forec — ASTM 68th Annual Meeting, 1965.
9. A. BARTOCCI — E. Marianeschi — La fabbricazione del fucinato del rotore — Atti Covegno grossa fucinatura, Terni, 1961.
10. C. J. BOYLE et al. — Significant Progress in the development of large steam turbine and Generator Rotors — ASTM Paper 81A, 1962.
11. C. ROGERS et al. — La fabrication des rotors — Atti Covegno grossa fucinatura, Terni, 1961.
12. D. L. NEWHOUSE et al. — A modifical 12% Chromium Steel — ASTM 68th Annual Meeting, 1965.
13. Brevetto Italiano 961774 — 1.º Febbraio 1963 "Perfezionamento dei procedimenti di saldatura dell' acciaio".
14. Commission économiques pour l' Europe — Aspects de la concurrence entre l' acier et d' autres matériaux — Nation Unite — New York, 1966.
15. L' industrie chimique, 1963-1964.
16. OCDE, Paris, 1965. — p. 112; et 1966 p. 101.
17. F. NALIN — Produttività e competitività dell' acciaio — Estratto dalla "Revista di Politica Economica" — Anno LVII, serie III, fascicolo V, mag. 1967.
18. "Plastics in Autos: A ten-year Forecast" Steel giugno 3, p. 11, 1968.
19. P. L. SANDS e C. R. Shakespeare — Powder Metallurgy.
20. H. SILBEREISEN — Atti del Congresso di Stoccarda, 1968.
21. R. P. Koehring — The present and future of Powder Metallurgy in the Automotive Industry — Automotive Engineering Congress, 1963 — Detroit.
22. KEMPTON H. ROLL — Powder Metallurgy information— 1967 — State of the industry Report.

Síntesis de los debates originados durante la Sesión Técnica Nº 1

Respecto de la Conferencia del Sr. R. S. Burns

S. L. Gertsman — En relación con los aceros no oxidables, ¿han realizado ustedes ensayos de resistencia a la fatiga después de diversos períodos de exposición de estos aceros a la intemperie? Me refiero a los de 60.000 a 100.000 lbs. de límite de elasticidad.

R. S. Burns — Estamos realizando ensayos de resistencia a la fatiga, sumergidos en agua de mar. No hemos hecho ensayos de resistencia a la fatiga después de la exposición a la intemperie. Nos parece mejor hacer el ensayo durante la inmersión o exposición.

R. Díaz Casanova — Veo que se ha hecho una amplia exposición sobre el incremento de esfuerzo en el acero y su comportamiento a la soldabilidad.

¿Cuál ha sido la reserva de deformación que tiene este nuevo material entre la deformación correspondiente al esfuerzo de 100 mil o 150 mil psi, y hasta la rotura de ese material?

R. S. Burns — Estos aceros tienen alrededor de 25 a 28% de alargamiento, medido en dos pulgadas. Se doblan con un radio equivalente a 2 ó 3 veces el espesor en la condición "fácil" y con 4 veces el espesor en la condición "difícil".

A. Schacht — Cuando se refiere a un radio de doblado de 2 a 3 espesores, ¿se refiere a doblado longitudinal, en el sentido de laminación? ¿Y a todos los espesores?

R. S. Burns — Hay dos condiciones de hacer ensayos de doblado: nosotros los llamamos la condición fácil y la condición difícil. La condición difícil es hacerlo paralelamente al sentido de laminación; la fácil es perpendicular al sentido de laminación.

Dije antes que el radio de doblado era de 4 espesores en la condición difícil o sea paralela al sentido de laminación y 3 espesores en la condición fácil o sea perpendicular al sentido de laminación. Sobre 4 pulgadas de espesor cualquier doblado es realmente difícil.

Respecto de la Conferencia del Sr. E. R. Abril.

E. Ayala Medina — En una parte de su interesante trabajo, el Dr. Abril dice que cuando hay restricciones en las importaciones de acero, puede llegarse a penalizar la industria manufacturera, obligándola a usar aceros que si bien cumplen con todos los requisitos de las respectivas especificaciones, pueden llegar a originar algunos problemas. Aquí es donde tengo una duda. Como en la determinación de si el acero es adecuado o no intervienen incluso determinadas circunstancias un poco subjetivas y pueden influir también consideraciones de carácter económico, como ser el costo del acero importado e incluso ese defecto que tenemos de considerar siempre mejor lo extranjero que lo nuestro, ¿acaso el productor de acero no corre el riesgo de ser tratado en forma injusta?

E. R. Abril — Me parece muy interesante su pregunta, indudablemente el tema lo hemos tratado desde un punto de vista técnico, pero no podemos alejar posibles factores políticos y económicos. Es indudable que el riesgo existe, pero también existe otro, es decir, el riesgo de que ciertas

piezas se encarezcan innecesariamente por el uso de un acero no adecuado. Creo que la solución consiste en que el usuario que quiera justificar la necesidad de usar un acero importado, debe hacerlo en un nivel técnico y el gobierno o quien decida, debe también tener personal familiarizado desde el punto de vista técnico. Ahora bien, presumiendo capacidad técnica, tanto del usuario como del fabricante, como del gobierno, el problema no existiría.

A. Hey — En una parte de la versión escrita del trabajo del Ing. Abril, ha hecho referencia a la racionalización que se llevó a cabo en Argentina. Esa racionalización se llevó a cabo con el objeto bastante evidente, como todas las racionalizaciones, de reducir el número de líneas de composiciones que se producen, obteniéndose, por consiguiente, un menor costo y mayores posibilidades, entrega prácticamente inmediata, etc., y por parte del usuario, seguramente permitirle reducir los stocks. En todo momento durante las deliberaciones quedó en claro la posición de los fabricantes en el sentido que ellos estaban dispuestos a fabricar cualquier tipo de acero que se les pidiera. Ahora bien, el Ing. Abril, muy inteligentemente, indica la posibilidad de que se cree una especie de burocracia técnica, en virtud del mal necesario de la racionalización y de la normalización. Los que trabajamos en esa Comisión de Racionalización, que estuviera y sigue estando auspiciada por Fabricaciones Militares, propusimos la creación de una comisión permanente, uno de cuyos deberes es compilar todos los datos técnicos sobre los aceros que están en la lista racionalizada y también estudiar aquellos aceros que aún no estando incluidos (incluso en la lista SAE que equivale a la IRAM, que fue la que se tomó de base), pueden eventualmente resultar interesantes a la industria, difundir sus posibilidades y recomendar su uso, incorporándolos eventualmente en la lista racionalizada. En esta forma el peligro de la burocratización técnica ha sido en cierta manera neutralizado. En otro orden de cosas y quizás también relacionado con lo que se dijo antes, creemos que el hecho de existir una racionalización de aceros, que obviamente implica una reducción en el precio de los aceros que están incluidos en la lista, los hace más atractivos en su uso, siempre y cuando los usuarios estén en posesión del aval técnico que les permita utilizar procesos de elaboración, tratamientos, etc., y que impliquen técnicas más refinadas, que impliquen ascensos del nivel técnico de las industrias. Eso es sobre todo importante para aquellas industrias muy comunes en nuestra región que trabajan en pequeña escala. La producción o el requerimiento de un acero de composición un tanto especial como los que menciona el Ing. Abril en su trabajo, es aceptable para empresas grandes, como a las que él pertenece, pues pueden pedir cantidades apreciables de este material y pueden mantenerlo en stock. Eso no es aplicable a pequeñas industrias que deben contentarse con lo que hay en plaza. Y, como él muy bien lo menciona en sus conclusiones, la industria metalúrgica se podrá manejar eficientemente cuando en todos los niveles, es decir, no sólo en las empresas grandes, los institutos que se dedican a la investigación, etc., sino también en la pequeña industria, existan los conocimientos técnicos que les permita discriminar, que les permita reemplazar los distintos tipos de acero, utilizando técnicas más refinadas. El reemplazo es una muy buena gimnasia técnica, como el Ing. Abril lo

debe saber muy bien. Yo supongo entonces que él estará de acuerdo en que la utilización de una menor variedad de composiciones mediante técnicas más refinadas, es una solución técnicamente viable y que en muchos casos es económicamente aconsejable.

E. R. Abril — Agradezco el comentario del Sr. Hey. Creo que estamos de acuerdo en que el problema tiene evidentemente aspectos y facetas muy distintas, ya que se involucran factores técnicos y económicos. El problema de la normalización en los aceros ha perdido un poco de importancia diría yo, en los últimos tiempos, a raíz de la influencia decisiva del costo de los elementos de aleación unos respecto a otros. Hasta hace unos pocos años era casi indiferente el tipo de acero aleado pues podía adquirirse a un precio prácticamente igual. Hoy en día hay una diferenciación cada vez más notoria en el costo de los elementos de aleación y en un momento determinado, como ha pasado recientemente con el molibdeno, resulta una penalización de los costos de los aceros, el tener que usar los aceros normalizados. No debemos pues excluir la posibilidad de dar la flexibilidad que propongo a la normalización, para que cuando ciertos factores cambien, pueda también cambiarse la lista, porque de lo contrario vamos a estar obligados a gastar demás en ciertos aceros. Por otra parte, ya eso sí en las industrias grandes, como también hace mención

el Ing. Hey, puede resultar bastante interesante una pequeña reducción de un elemento aleado. En efecto, como lo menciono también en el texto, en algunos casos hemos verificado que una pequeña reducción en los elementos aleados no solamente disminuye el costo, sino que facilita ciertos procesos como, por ejemplo, al reducir la templeabilidad disminuye la distorsión de ciertas piezas. De modo pues que, si hay que pagar mucho por ese acero que teóricamente debería ser más barato, debido a que la normalización ha penalizado el uso de esos aceros fuera de normas, resulta que se está impidiendo la solución de un problema técnico. También en el texto se menciona el caso de un acero al carbono, con el cual no podíamos lograr la templeabilidad exigida por el cliente y que la única solución fue ir a un acero, que sin dejar de ser al carbono, contenía pequeñas cantidades de elementos de aleación que solucionaban el problema. Pues bien, ese acero tampoco puede estar en una norma ni se puede establecer una norma que contemple todos los casos. Considero pues que la normalización debe ser para las grandes cosas y para la gran producción, para todos aquellos casos en que un acero puede usarse en lugar de otro, pero debe dejarse cierta flexibilidad y no penalizar demasiado aquellos aceros especiales que una firma, en un momento determinado, pueda necesitar.

Sesión técnica - Tema 2

La aglomeración de minerales de hierro

Comentario introductorio.

El Miércoles 18 de Septiembre a partir de las 15 horas, se desarrolló la sesión de trabajo sobre aglomeración de minerales de hierro, tema que fue abordado desde dos puntos de vista: la sinterización y la peletización.

La sesión fue presidida por el señor David Appel, Presidente de Industria Nacional Laminadora S.A., INLASA, de Montevideo, Uruguay y como Presidente de Debates actuó el Dr. Paulo Miguel Bohomoletz, Director de Cía. do Rio Doce, Brasil y miembro del Directorio de ILAFA.

En primer término fue presentado el trabajo "Técnicas de Sinterización en Japón" por su autor el Ing. Satoru Uchikawa, Director Gerente Principal de Fuji Iron and Steel Co. Ltd. de Japón.

El señor SATORU UCHIKAWA es Ingeniero Mecánico graduado en el Instituto Tecnológico de Hiroshima, ingresado a la usina YAWATA de la Japan Iron and Steel Co. Ltd., a principios de 1924. Después de disolverse esta empresa en 1950 ingresó a la FUJI IRON AND STEEL CO. LTD. como Gerente del Departamento Técnico, pasando después, a partir de 1952 a Gerente de Producción, ambas posiciones con asiento en la oficina principal de la empresa. Junto con desempeñar este último cargo, fue nombrado Director de FUJI poco después.

En 1956 fue designado Superintendente General Adjunto de la usina Hiroshata de FUJI y a partir de mediados de 1958 pasó a ocupar el cargo de Director Gerente de la TOKAI IRON AND STEEL Co. Ltd., empresa subsidiaria de FUJI, siendo ascendido en 1960 a Director Gerente Principal y después en 1965 a Vice Presidente Ejecutivo. En 1967 volvió nuevamente a la FUJI IRON AND STEEL Co. Ltd. como Director Gerente Principal de la FUJI.

El trabajo del señor Uchikawa analiza la fabricación de sinter en su país en sus aspectos técnicos y económicos. Dentro de este marco expone los criterios básicos que gobiernan la importación de materias primas, cómo economizarlas y por último cómo incrementar la producción y la calidad.

El autor entra de lleno después a exponer el desarrollo del beneficio de los materiales de hierro en Japón y el estado actual de las técnicas de sinterización en ese país. También aborda en forma sucinta, pero muy profunda, la controversia entre sinter y pelets: según los japoneses ambos tienen el mismo valor desde el punto de vista tecnológico (pelets y sinter autofundente) y todo queda reducido entonces a un problema de costo. Dice el autor a manera de conclusión final en este aspecto: "Nuestra posición, pues, es la de usar el que resulte más barato".

En el debate de este documento participaron los señores P. M. Bohomoletz de la Cía. Vale do Rio Doce y Luis F. Morán de Marcona Mining Co. de Perú.

A continuación fue presentado el documento intitulado "El control continuo de la calidad de los aglomerados Dwight-Lloyd", cuyo autor el Prof. P. Coheur no pudo asistir al Congreso. La presentación oral de este trabajo estuvo a cargo del Ing. Adolfo Bragard que pertenece al Centre National de Recherches Métallurgiques, del cual el Profesor Coheur es Administrador-Gerente.

El profesor Pierre Coheur es Ingeniero Civil Metalurgista y Doctor en Ciencias Aplicadas para la Enseñanza Universitaria.

Ha efectuado estudios de perfeccionamiento en los Institutos de Física de la Universidad de Munich (Alemania) en 1939 y de la Escuela Técnica Superior de Delft en los Países Bajos en 1944, en el Metal Research Laboratory del Instituto Carnegie de Tecnología, Pittsburgh (EE. UU.) en 1945 y 1946 y Curso de Física de Metales en 1947 en la Universidad de Bristol (Inglaterra).

Desde el inicio de su carrera hasta la fecha ha ocupado sucesivamente los siguientes cargos en la enseñanza superior: Ayudante de Metalurgia, Encargado de cursos de Espectroquímica de Emisión, Metalurgia Física, Metalúrgica General, Siderurgia, Metalografía y Metalurgia Física hasta por último el de Profesor Titular a partir de Diciembre de 1960.

Además, ha sido sucesivamente Director del Centro Belga de Metalurgia Física, Director de la Sección de Lieja del Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas y después su Administrador - Gerente, Administrador Delegado del Presidente del mismo Centro y Administrador Gerente del Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas desde Marzo de 1960, cargo que desempeña actualmente.

El profesor Coheur forma parte del Comité de Investigaciones Tecnológicas de la CECA, Administrador de la Asociación Internacional para Investigación del Horno de Cuba Baja de Ougrée y miembro de su Comité Ejecutivo. Forma parte, además, del Comité de Microscopía Electrónica y es Co-Director de la Revista Acta Metallurgica, editada en EE. UU.

El trabajo del Prof. Coheur describe un equipo de control automático de las características del sinter que presenta un tiempo de respuesta muy breve y que por lo tanto sirve para el control y regulación directa del equipo productor de sinter. Es sabido que la calidad del aglomerado tiene relación directa con su estructura mineralógica. Los métodos convencionales para determinar dicha estructura son la microscopía óptica y el análisis químico elemental. Ahora bien, el tiempo que se necesita para obtener resultados hace que estos métodos no sirvan para la regulación "inmediata" de una banda productora de aglomerados. Por esto es que se recurre a la homogenización de las materias primas, para disminuir las variaciones de calidad del aglomerado.

El principio del método de control continuo descrito en este trabajo toma el hierro bivalente como parámetro característico de dicha estructura. La medición del parámetro se obtiene haciendo pasar la muestra por el núcleo de un embobinado eléctrico y registrando la frecuencia del circuito.

El trabajo del Prof. Coheur suscitó un interesante debate en el que participaron, fuera del relator y del Presidente de Debate, los señores Melvin C. Chang, de Dravo Corporation, EE. UU.; Rodrey Jennings, Simons Carves Ltd., Inglaterra; y Jacques Astier, del IRSID (Francia). Reproducimos una síntesis del debate en el cuerpo del presente informe.

A continuación fué presentado el trabajo intitulado "Cinco años de producción de pelets" el cual se refiere a la unidad de Marcona Mining Co. en Perú. Sus autores son los Ingenieros Herman A. Halupka, Superintendente General de Marcona Mining Co. y Luis Morán, Superintendente de Beneficio de la misma empresa. Actuó como relator el Ing. Morán.

El señor H. A. Halupka, Ingeniero Metalúrgico, se incorporó a la Marcona Mining Company en 1964. Llegó del Canadá en donde trabajó para la Iron Ore Company y las Minas Hilt, siendo su posición actual, Superintendente General-Beneficio. Antes estuvo vinculado con Plantas de Beneficio no-ferrosas en el Sur-Oeste del África y anteriormente, conectado con la enseñanza de Metalurgia y Física.

El señor Luis F. Morán obtuvo su título de Ingeniero Químico en la Universidad Mayor de San Marcos, Lima-Perú. Trabajó por espacio de 10 años en el Banco Minero del Perú en el Programa de Desarrollo y Comercialización de Antracita, Cuenca del Río Santa, Chimbote, Perú. Desde hace 8 años trabaja para Marcona Mining Company en Concentración y Aglomeración de Mineral de Hierro. Actualmente está a cargo de la Producción de Pelets, en calidad de Superintendente de Peletización.

El documento describe la evolución de las prácticas de operación de la factoría de Marcona en San Nicolás, destacando sus singularidades y da a conocer el esquema de control de calidad, en función de las diferentes etapas tecnológicas, del tipo de prueba que se aplica y de su frecuencia. Los autores atribuyen la mayor importancia al control de calidad.

Este documento fué expuesto por el Ingeniero Morán y provocó un debate cuya síntesis aparece más adelante y en el cual participaron los señores Bruno Leuschner de la Comisión Económica para América Latina (Naciones Unidas) CEPAL; Melvin C. Chang, de Dravo Corporation, EE. UU.; J. Cárdenas; Luis Remy Valdivieso, de Marcona Mining Co., Perú y Adolfo Bragard, del CNRM de Bélgica.

La sesión prosiguió con el documento del Dr. Melvin C. Chang, intitulado "Unión de partículas de óxido de hierro en pelets ácidos".

El Ingeniero Melvin C. Chang nació en Indonesia e hizo sus estudios profesionales en las Filipinas y en Estados Unidos, Universidades de las Filipinas y de Arizona, respectivamente, y después en el Instituto de Tecnología de Massachusetts hasta obtener el título de Doctor en Ingeniería de Minas en Junio de 1951.

Durante cuatro años estuvo destacado por la Armour Research Foundation, en el Instituto Tecnológico de Massachusetts, y también actuó en el mismo período, como investigador en la estación experimental de minería de la Universidad de Minnesota, donde efectuó estudios diversos sobre problemas relacionados con el mineral de hierro. A fines de 1954 fue contratado como Jefe de Sección del Departamento de Metales de la Chemical Construction Corporation en Linden, Nueva Jersey, a cargo de investigación de procesos y desarrollo en el campo de la metalurgia extractiva y química.

A fines de 1955 fue nombrado Supervisor de Investigaciones Tecnológicas y encargado de la sección Ingeniería Química y Proceso de Minerales de la Crucible Steel Co. of America. Posteriormente y a partir de principios de 1961 hasta fines de 1965 ocupó el cargo de Jefe de Investigaciones Tecnológicas de la Jounstown Sheet and Tube Co.

donde abordó numerosos estudios sobre Materias Primas y Reducción de minerales de hierro. Desde Octubre de 1965 y hasta la fecha dirige las actividades de investigación y desarrollo de Dravo Corporation sobre beneficio de minerales, incluyendo la aglomeración y procedimientos químicos y metalúrgicos.

El Dr. Chang analiza en su trabajo el comportamiento característico de los distintos tipos de mineral o concentrados, en cuanto al mecanismo de la aglomeración. La clasificación de los minerales de hierro que adopta el autor comporta cuatro tipos: sedimentarios-terrosos, sedimentarios-itabíricos, especulares y magnetita. La interpretación teórica del comportamiento de los minerales en la aglomeración la hace el Dr. Chang en función de la diferencia entre la energía libre y el estado termodinámicamente estable, siendo esta diferencia la que impulsa los cambios de estructura durante la fase de cocción del aglomerado.

En el debate de este trabajo tomaron parte los señores Jacques Astier, del IRSID, Francia, Jack Miller, de Battelle Memorial Institute y Alfonso Bragard del CNRM de Bélgica, éste último con una contribución escrita que se incluye en el texto del debate reproducido más adelante.

La reunión finalizó con la presentación del trabajo del Ing. R. W. Hornbaker, de Koppers Co., EE. UU. en colaboración con el Ing. R. E. Zimmermann de la misma empresa sobre una "Nueva técnica para la producción de pelets". La exposición oral del documento fué hecha por el Ing. Hornbaker.

El señor R. W. Hornbaker estudió Ingeniería Metalúrgica en la Universidad del Estado de Ohio (EE. UU.). Trabajó por varios años en diversas empresas siderúrgicas de Estados Unidos en aspectos relacionados con desarrollo de productos y asesoría técnica de ventas y estudio de mercados. Trabaja actualmente en la división de Ingeniería y Construcción de Koppers, donde se ocupa de desarrollo de mercado y venta de equipos y procedimientos.

El señor Hornbaker pertenece al Instituto Americano de Ingenieros de Minas, Metalúrgicos y del Petróleo (AIME) y ha sido miembro de diversos comités de trabajo de la American Society for Testing and Materials (ASTM). Además ha publicado numerosos trabajos y artículos técnicos en revistas especializadas de Estados Unidos.

La nueva técnica de producción de pélets que expuso el autor es la de carbonatación y se caracteriza entre otros aspectos por una temperatura de piroconsolidación inferior a la de los procedimientos convencionales. Hasta ahora, el nuevo procedimiento ha alcanzado la etapa de planta piloto, pero según el autor, los resultados obtenidos pueden considerarse satisfactorios.

Un aporte interesante para la interpretación de las proyecciones eventuales de esta técnica lo constituye el debate del documento y en el cual participaron el Prof. Sven Eketorp del Royal Institute of Technology de Suecia; Dr. Melvin C. Chang, de Dravo Corporation, EE. UU.; Ing. Jack Miller del Battelle Memorial Institute, EE. UU.; Satoru Uchikawa de Fuji Iron and Steel Co. Ltd., Japón y el Ing. Jacques Astier del IRSID, Francia.

Las técnicas de sinterización en Japón

Por Satoru Uchikawa

1. Las materias primas en las industrias siderúrgicas japonesas.

Japón es un país marítimo angosto, con una superficie de 370.000 kilómetros cuadrados y una gran población de unos 100 millones. En comparación con Perú, sede de este congreso, que tiene una superficie de 1.285.000 kilómetros cuadrados y una población de alrededor de 10 millones, se puede decir que la densidad de población de Japón equivale a unas 35 veces la de Perú.

Además, Japón no es rico en recursos naturales. Para su sustento económico Japón debe importar la mayoría de las materias primas del extranjero y transformarlas en productos industriales de alta calidad, para la exportación. Por esta razón, durante el último siglo, Japón ha seguido un camino de rápida conversión a las industrias pesadas.

Las industrias siderúrgicas japonesas, como potencia primaria de impulso para dicho movimiento hacia las industrias pesadas, han crecido hasta el punto de que Japón se ha convertido recientemente en el tercer país productor de acero del mundo, superado sólo por los Estados Unidos y la Unión Soviética.

Para las siderúrgicas de Japón, el cual carece de recursos naturales, el abastecimiento de materias primas siderúrgicas constituye el problema más serio, y es natural que las industrias hayan concentrado todas sus energías en resolver este problema, y que los resultados obtenidos hayan proporcionado el impulso para su crecimiento.

El primer aspecto es cómo importar las materias primas.

La dependencia de las siderúrgicas japonesas del suministro de materias primas de ultramar se tasa en un 90% para el mineral de hierro, un 70% para el carbón coquizable,

y un 20% para la chatarra de hierro, en tanto que la distancia del transporte marítimo de dichos materiales se encuentra entre alrededor de 4.000 a 10.000 millas marítimas. Como el flete constituye un 30-40% del costo de las materias primas, se están empleando grandes metaleros y carboneros del tipo de 50.000-120.000 toneladas, en una tentativa de estabilizar los costos de flete en un nivel bajo. Afortunadamente, todas las plantas siderúrgicas japonesas están construidas a la orilla del mar, con la ventaja de tener buenos puertos de suficiente profundidad. Además, disponen de instalaciones de descarga capaces de atender los gigantescos metaleros.

El segundo aspecto consiste en cómo economizar las materias primas.

De todas partes del mundo se han importado muchas variedades de mineral de hierro de buena clase, y se las ha mezclado en proporciones óptimas; al mismo tiempo, se ha intensificado la concentración de los minerales de hierro para obtener una clasificación completa de los minerales en trozos y la sinterización de los finos. Como consecuencia de este tratamiento dado al mineral de hierro, unido a los progresos hechos en las técnicas de operación del alto horno, tales como la aplicación de la contrapresión, inyecciones de combustible, enriquecimiento del aire con oxígeno, etc., hemos logrado materializar el consumo específico de coque más bajo del mundo, de 500 kg por tonelada de arrabio, con un ahorro considerable en el consumo de carbón coquizable (véanse las Figs. 1 y 2).

El tercer aspecto es cómo incrementar la producción y la calidad.

Con miras a resolverlo, estamos insistiendo en el aumento de dimensiones, modernización y automatización de las instalaciones y equipos.

Cuadro I. Comparación del balance de mineral de hierro (1966)

	Producción doméstica (A)		Importación (B)		Exportación (C)		Consumo (A + B - C)	
	1.000 t (%)	Fe %	1.000 t (%)	Fe %	1.000 t (%)	Fe %	1.000 t (%)	Fe %
Japón	4.803 (10)	57	42.694 (90)	62	—		47.497 (100)	61
EE. UU.	92.160 (70)	53	46.999 (36)	61	7.904 (6)	53	131.255 (100)	56
Alemania	7.198 (19)	35	31.518 (82)	53	300 (1)	32	38.416 (100)	50
Inglaterra	13.776 (46)	28	16.216 (54)	39	—		29.992 (100)	45
Francia	55.050 (134)	35	4.245 (10)	62	18.195 (44)	31	41.100 (100)	40

De "The Iron and Steel Statistical Handbook 1967" publicado por The Japan Iron and Steel Federation.

Fig. 1. Trends of Blast Furnace Operation in Japan
(from "The Iron and Steel Statistical Handbook 1967")

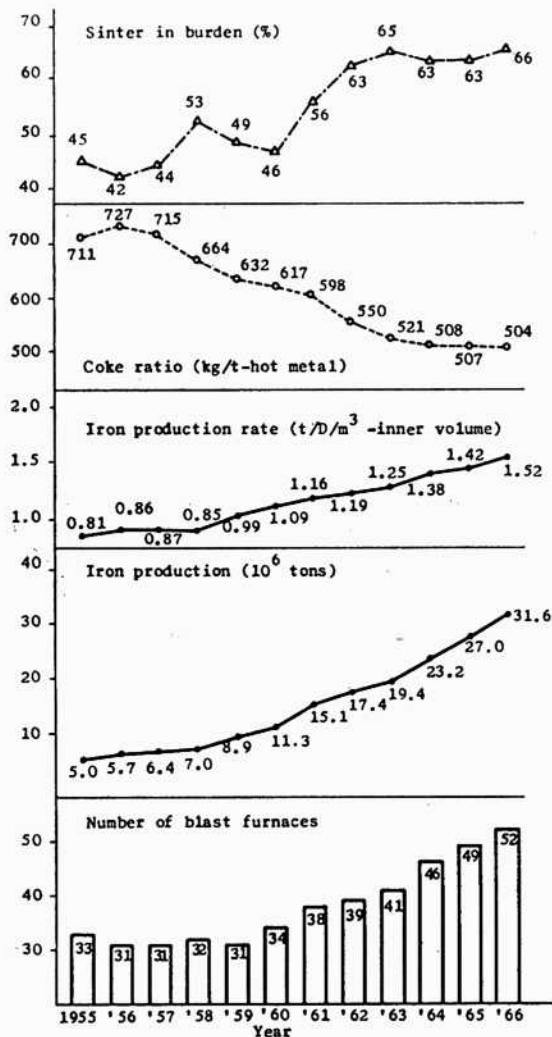


Figura 1 — Tendencias de la operación de altos hornos en Japón
(de "The Iron and Steel Statistical Handbook 1967").

Sinter in burden (%) = Sínter en la carga (%); Coke ratio (kg/t-hot metal) = Consumo específico de coque (kg/t de arrabio); Iron production rate (t/D/m³-inner volume) = Tasa de producción de arrabio (t/D/m³ de volumen interior); Iron production (10⁶ tons) = Producción de arrabio (10⁶ toneladas); Number of blast furnaces = Número de altos hornos; Year = año.

2. Desarrollo de la concentración de minerales de hierro en Japón.

La concentración de minerales de hierro en Japón consiste principalmente en clasificar y sinterizar, y también en peletizar, aunque en pequeñas cantidades.

En cuanto a la clasificación por tamaño, hasta 1953 el único sistema empleado fue la trituración de los minerales "run-of-mine", pero después de esa fecha las plantas de trituración y cribado se reforzaron con el fin de mejorar la permeabilidad y reducibilidad de la carga del alto horno, y últimamente se ha hecho corriente una granulometría de 8-30 mm. En algunas plantas la clasificación ha mejorado hasta llegar a una granulometría de 10-25 mm.

Fig. 2. Effect of Sinter on Coke Ratio and Iron Production
on Coke Ratio and Iron Production

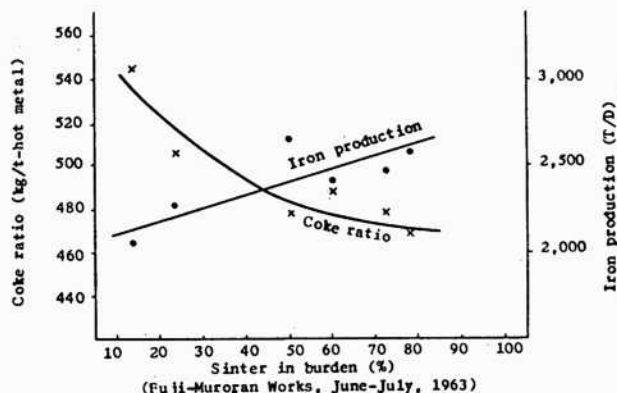


Figura 2 — Efecto del sínter sobre el consumo de coque y la producción de arrabio.

Coke ratio (kg/t-hot metal) = Consumo de coque (kg/t de arrabio); Iron production = Producción de arrabio; Iron production (T/D) = Producción de arrabio (T/D); Coke ratio = Consumo de coque; Sinter in burden (%) (Fuji-Muroran Works, June-July, 1963) = Sínter en la carga (%) (Planta Fuji-Muroran, junio-julio, 1963).

La sinterización, por el contrario, se inició en 1929, con el funcionamiento de una máquina de sinterizar AIB en Yawata, y de una Dwight-Lloyd en Kamishi; al año siguiente empezó a funcionar en Muroran una máquina de sinterizar Greenwalt. Desde esa fecha se han instalado dichas máquinas en diversas plantas, en número creciente. En un comienzo, el objeto de estas instalaciones era aprovechar efectivamente los recursos inexplorados, pero, después de la guerra, la atención principal se desvió hacia la aglomeración de los minerales de tamaño pequeño cuya cantidad aumentaba debido a la mejor clasificación, y al tratamiento de los recursos ferríferos locales, tales como las cenizas de pirita y las arenas ferríferas. En cuanto se comenzó a producir el sínter autofundente, alrededor de 1958, el valor del sínter como material de carga para el alto horno subió en forma brusca. Para decirlo más concretamente, los ensayos comparativos de minerales en trozos y sínter autofundente demostraron que este último, debido a su reducibilidad claramente superior y su capacidad para disminuir el consumo de calor para calcinación de la caliza en el alto horno, produce un aumento de la productividad de éste, reduce drásticamente el consumo específico de coque y mejora el grado de desulfuración.

Desde entonces, por tanto, se han construido nuevas plantas de sinterización, hasta que hoy en día, en promedio, el 65% de la carga del alto horno es de sínter, y hay numerosos altos hornos que funcionan con 80 a 100% de sínter.

La máquina de sinterizar más grande que funciona actualmente en Japón es la Banda Nº 2 (196 m², 3.5 m de ancho x 56 m de largo) de la planta Nagoya de Fuji Iron & Steel Co., Ltd. En las plantas Muroran y Nagoya de la misma empresa se están construyendo además sendas máquinas Dwight y Lloyd de gran tamaño (280 m², 4 m de ancho x 70 m de largo), de modo que dentro de poco habrá instalaciones con capacidad para 10.000 t/d. En la Fig. 3 se ve un esquema de la planta Nagoya con las máquinas de sinterizar de grandes dimensiones que están funcionando en Japón.

3. Estado actual de las técnicas de sinterización en Japón.

Los resultados de operación que arrojan las plantas de sinterización importantes de Japón se encuentran hoy en un nivel muy alto, como se ve en el Cuadro 3. Ello se debe a la combinación de instalaciones excelentes con materias primas mezcladas para facilitar la sinterización, y técnicas de operación también excelentes.

3.1. Instalaciones.

La característica general más notable de las nuevas plantas de sinterización es la existencia de diversas instalaciones destinadas a asegurar la uniformidad de las mezclas de materias primas. Con el fin de obtener una adecuada dosificación es de uso general instalar un alimentador automático de precisión y una romana debajo de cada una de las tolvas de mineral. Algunas plantas mantienen además pa-

tios de mezcla de mineral para asegurar su uniformidad y disminuir las variaciones inherentes a los diversos tipos de mineral.

Las medidas anteriores están dirigidas a minimizar las desviaciones en la composición de la mezcla cruda y estabilizar la operación.

La segunda característica notable es el control automático de humedad en las mezclas crudas. La mantención de un nivel de humedad adecuado en las mezclas crudas es uno de los factores esenciales de la sinterización, y la adición de agua se regula automáticamente mediante el establecimiento de valores óptimos de humedad predeterminados, que varían de una mezcla a otra. Para este objeto se han perfeccionado medidores de humedad, de neutrones.

La tercera característica notable es la adopción de grandes ventiladores de sinterización. La unidad más grande que se encuentra actualmente en funcionamiento es un tur-

Cuadro 2. Plantas de sinterización típicas de Japón

Empresa	Planta	Fecha de puesta en marcha	Tipo	Banda de sinterización		Ventilador		Enfriador
				Ancho x largo (m)	Superficie de parrilla (m ²)	Capacidad (m ³ /min)	Presión de succión (mmAq)	
Fuji	Muroran	Nº 4 1961	McKee	2,5 x 47,5	119	9.000	—1.300	14,5 ϕ
		Nº 1 1964	Lurgi	3,5 x 52,0	182	2x8.000	—1.200	220 m ²
	Hirohata	Nº 2 1967	"	3,5 x 56,0	196	19.000	—1.300	220 m ²
		Nº 2 1966	McKee	3,0 x 50,0	150	15.000	—1.300	240 m ²
Yawata	Tobata	Nº 1 1960	Lurgi	2,5 x 60,24	130	11.700	—1.200	200 m ²
		Nº 2 1962	"	2,5 x 60,24	130	11.700	—1.200	200 m ²
	Sakai	Nº 1 1966	"	2,5 x 60,24	130	11.700	—1.400	198 T/H
		Nº 2 1968	"	3,0 x 61,0	183			
Nippon Kokan	Mizue Fukuyama	Nº 1 1962	Koppers	2,4 x 41,6	100	9.000	—1.200	200 T/H
		Nº 1 1966	Lurgi	3,0 x 50,0	150	13.500	—1.200	375 T/H
		Nº 2 1968	"	3,0 x 54,0	162			
Sumitomo	Wakayama	Nº 3 1963	McKee	2,5 x 40,0	100	9.000	—1.200	71 T/H
Kawasaki	Mizushima	Nº 1 1963	Lurgi	3,0 x 61,0	183	17.000	—1.300	255 m ²
Yawata	Kimitsu	Nº 1	en construcción	3,0 x 61,0	183			
Fuji	Muroran Nagoya	Nº 5 "	"	4,0 x 70,0	280	28.000	—1.250	313 m ²
		Nº 3 "	"	4,0 x 70,0	280	28.000	—1.250	300 m ²

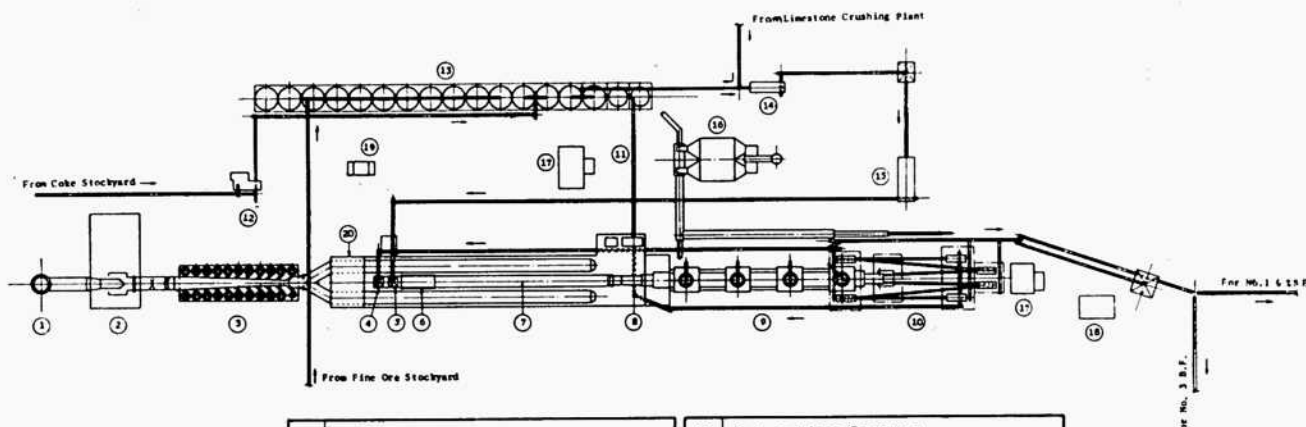
Cuadro 3. Datos de operación de plantas de sinterización típicas de Japón (abril-septiembre 1967)

Empresa	Planta	Banda	Producción (t/d)	Productividad (t/h/m ²)	Sinter*** N.F. + R.F. %	Disponibilidad %	Consumo de coke (kg/t-s)	Promedio granulometría			
								Mezcla cruda (mm)	Sinter (mm)	-5mm en el sinter %	Resistencia a la fracturación (+10mm%)
Fuji	Muroran	Nº 4	3.940	1,48	59,9	93,6	58,6	2,77	29,9	2,8	80,4
		Nagoya	Nº 1	5.950	1,54	64,5	89,7	2,13	16,8	10,7	89,5
	Hirohata	Nº 2*	7.225	1,66	61,0	92,2	63,2	2,01	18,5	14,5	(52,7)**
		Nº 2	4.488	1,43	59,2	87,4	58,5	3,31	19,2	5,6	81,3
Yawata	Tobata	Nº 1, 2	8.545	1,44	70,8	92,9	59,2	2,80	22,6	4,1	84,3
	Sakai	Nº 1	4.129	1,45	65,5	91,2	52,4	2,85	22,5	3,6	85,2
Nippon Kokan	Mizue	Nº 1	4.172	1,77	57,8	93,7	60,5	2,76	29,9	5,0	82,4
	Fukuyama	Nº 1	5.202	1,62	58,4	88,9	58,6	2,93	24,3	6,0	82,1
Sumitomo	Wakayama	Nº 3	4.068	1,63	63,6	95,8	53,0	2,59	24,1	4,2	82,2

* Datos de operación en marzo de 1968.

** Ensayo en tambor (+10mm%).

*** N.F. = Minerales y aditivos, excepto combustible. R.F. = finos de retorno.



1	Chimney	11	Return Fines Conveyor
2	Main Exhaust Fan	12	Coke Graining Equipment
3	Cyclone Collector	13	Ore Bins
4	Hearth Layer Hopper	14	Primary Mixer—Drum Type
5	Raw Mixture Hopper	15	Secondary Mixer—Drum Type
6	Ignition Furnace	16	Ancillary Dust Collector—E.P. Type
7	Sintering Machine—Dwight-Lloyd Type	17	Electric Room
8	Primary Sizing Equipment	18	Sinter Sampling Equipment
9	Sinter Cooler	19	Cooling Tower
10	Secondary Sizing Equipment	20	Operation Room

Figura 3 — Disposición de la línea de sinterización No. 3 de la planta Nagoya, de Fuji Iron and Steel Co. Ltd.

From Limestone Crushing Plant = De la planta trituradora de caliza; From Coke Stockyard = del patio de almacenamiento de coque; For No. 1 & 2 B. F. = A los A.H. No. 1 y 2; From Fine Ore Stockyard = Del patio de almacenamiento de mineral fino; For No. 3 B. F. = Al A. H. No. 3; 1) Chimney = Chimenea; 2) Main Exhaust Fan = Ventilador principal de descarga; 3) Cyclone Collector = Colector de ciclón; 4) Hearth Layer Hopper = Tolva de la capa de base; 5) Raw Mixture Hopper = Tolva de mezcla cruda; 6) Ignition Furnace = Horno de ignición; 7) Sintering Machine — Dwight-Lloyd Type = Máquina de sinterizar — tipo Dwight-Lloyd; 8) Primary Sizing Equipment = Instalación primaria de clasificación; 9) Sinter Cooler = Enfriador de sinter; 10) Secondary Sizing Equipment = Instalación secundaria de clasificación; 11) Return Fines Conveyor = Transportador de finos de retorno; 12) Coke Graining Equipment = Instalación de clasificación de coque; 13) Ore Bins = Silos de mineral; 14) Primary Mixer — Drum Type = Mezclador primario — del tipo de tambor; 15) Secondary Mixer — Drum Type = Mezclador secundario — del tipo de tambor; 16) Ancillary Dust Collector — E.P. Type = Captador de polvo auxiliar — tipo E.P.; 17) Electric Room = Sala de equipo eléctrico; 18) Sinter Sampling Equipment = Muestreo de sinter; 19) Cooling Tower = Torre de enfriamiento; 20) Operation Room = Sala de operación.

boventilador de 19.000 m³/min y presión de 1300 mm de agua para una máquina de sinterizar de 196 m², y se proyecta emplear una soplante de 28.000 m³/min y 1250 mmAq en una máquina de 280 m² que se construirá próximamente.

A medida que aumenta el tiraje por m² de superficie útil de la parrilla, aumentaría también la velocidad de la banda y la cantidad de masa sinterizada descargada crecería, por tanto, proporcionalmente; pero, por otra parte, la resistencia del sinter se perjudicaría. Por tal motivo, la elección de los ventiladores de sinterización debe tomar en cuenta suficientemente las condiciones de las materias primas y la calidad del sinter que necesita el alto horno; pero la costumbre generalizada hoy en las grandes máquinas de sinterizar japonesas es mantener el tiraje en 90-100 m³/min/m² de superficie de la parrilla.

La cuarta característica notable es la capacidad para mejorar la clasificación por tamaño mediante una trituración y cribado secundarios del sinter frío. El sinter terminado, antes de pasar al alto horno, recibe una trituración y clasificación secundarias, se eliminan las partes débiles y grietas, y se tamiza lo suficiente para mejorar la permeabilidad

y la reducibilidad con el fin de estabilizar la operación del alto horno.

En cuanto a los tamices de sinter, cuya mantención es particularmente engorrosa, se está generalizando la práctica de tener a mano tamices de repuesto, montados sobre camión, para cambiarlos en poco tiempo.

Algunas plantas, entre tanto, disponen de instalaciones situadas delante del alto horno, para el tamizado secundario del sinter.

La quinta característica notable es la adopción de controles por computador. Esta práctica se está extendiendo para optimizar la mezcla de materias primas y las condiciones operacionales, estabilizar la calidad del sinter y reducir el personal. En las plantas nuevas se ha generalizado el uso del computador tanto con fines de control como de registro de datos.

3.2. Mezcla de materias primas.

Una condición principal de la producción económica de arrabio es disminuir el consumo específico de coque en el alto horno, y con este fin lo más importante es entregar, con una planta de sinterización determinada, la mayor can-

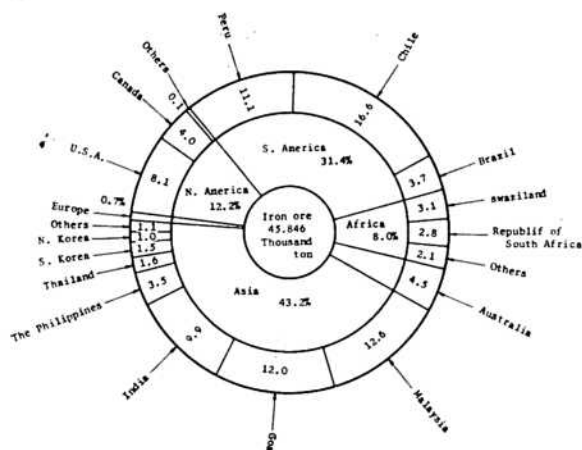


Figura 4 — Importaciones de mineral de hierro de Japón, por países (1966)
Iron ore 45.846 Thousand ton = Mineral de hierro 45.846 mil toneladas.

tividad posible de sinter de propiedades adecuadas a la operación del alto horno, y suministrar al alto horno una cantidad de sinter proporcionalmente mayor.

Como ya se dijo, Japón importa minerales de todas partes del mundo, de modo que la diversidad de minerales es muy grande, y cada uno es diferente de otros en cuanto a tamaño, composición química y estructura mineral.

La influencia que ejercen las propiedades de estos minerales en la práctica de sinterización difiere enormemente de marca a marca, y los resultados de la operación están determinados en gran medida por las propiedades del mineral. En consecuencia, es esencial mezclar estos numerosos tipos de mineral adecuadamente para formar la mezcla cruda más fácil de sinterizar, e incrementar la productividad del sinter mediante las condiciones de sinterización más adecuadas a dicha mezcla.

Además de buscar diversas combinaciones de mineral se usan a veces aditivos distintos del mineral de hierro, con el objeto de ajustar el contenido de escoria del sinter. Por ejemplo, con el fin de mantener el contenido de SiO_2 dentro de los límites deseados, se agrega ocasionalmente arena silicosa u otra similar. En el sinter de alta basicidad se suele regular el contenido de substancias que pasarán a la escoria mediante adiciones de caliza.

Al comprar los minerales destinados a la sinterización se estudia pues con gran atención no sólo los precios sino el hecho de que el mineral pueda ser sinterizado o no con facilidad.

3.3. Técnicas de operación.

La gran diversidad de minerales somete a las máquinas de sinterizar japonesas a muchos cambios en las condiciones de operación. Las operaciones de sinterización, por tanto, deben coordinar diversos factores de acuerdo con dichos cambios, mantener las calidades de sinter especificadas de acuerdo a las condiciones fijadas por el alto horno, y a la vez aumentar la producción.

De especial importancia es optimizar la granulometría y humedad en la mezcla cruda, la altura del lecho, y las condiciones de alimentación, todas las cuales afectan la permeabilidad del lecho de sinterización. Una reducida permeabilidad del lecho disminuiría el volumen del tiraje y la cantidad de sinter producido, a la vez que causaría perjuicios como un aumento en el escape de aire debido direc-

tamente a la mayor presión de succión, y por tanto un mayor costo de energía. La granulometría de la mezcla cruda se puede variar dosificando diversos minerales, de distintos tamaños, y finos de retorno, en tanto que el contenido óptimo de humedad corresponde al contenido de humedad que da la densidad mínima aparente o el contenido máximo de humedad de una mezcla cruda dada.

La altura del lecho se determina y ajusta en tal forma que proporcione el rendimiento máximo, a la vez que produzca el sinter de calidad adecuada a los requisitos del alto horno.

Igual importancia revisten el control de la temperatura del horno de ignición y el control de la velocidad de la banda de las máquinas de sinterizar; en muchos casos ambos se efectúan automáticamente.

Para asegurar las propiedades físicas del sinter terminado, el control del cribado es una operación importante en la cual es esencial acentuar la eficiencia del cribado mediante la mantención y prevención del desgaste de la plancha de cribado, y eligiendo adecuadamente las aberturas.

Es importante también disminuir las variaciones en las propiedades físicas y químicas del sinter, para cuyo fin se realizan frecuentes ensayos y análisis aplicando de inmediato estos datos al manejo de la instalación.

Los medios corrientes de control de la operación de sinterización normal incluyen el ensayo de reducibilidad, ensayo de resistencia a temperatura ambiente, y análisis de tamiz; pero últimamente se les está reemplazando por el ensayo de resistencia en caliente o después de la reducción, control de calidad por observación microscópica, etc., los cuales deben indicar con mayor precisión las propiedades del sinter más adecuadas a la operación del alto horno.

3.4. Tendencia de las investigaciones en sinterización.

En Japón las investigaciones en sinterización adelantan rápidamente debido a que se emplea el sinter en grandes cantidades. La tendencia actual de la investigación se divide a grandes rasgos, en dos categorías:

La primera abarca las investigaciones relacionadas con las propiedades del sinter. En este campo, con el fin de obtener propiedades satisfactorias en el sinter como material de carga para el alto horno, se están estudiando diversas características del sinter a altas temperaturas y en atmósferas reductoras; también se están estableciendo métodos de operación que aseguren las propiedades óptimas del sinter.

La segunda categoría comprende las investigaciones relativas a la estructura mineral del sinter. Los constituyentes mineralógicos del sinter son ahora diferentes, puesto que se ha pasado del sinter corriente al sinter autofundente, y, al mismo tiempo, de distintas basicidades. En consecuencia, se estudian intensamente las relaciones que hay entre los tipos y propiedades de dichos componentes minerales y las propiedades del sinter.

4. ¿Pélets o sinter?

La peletización ha entrado en escena, como sistema para aglomerar el concentrado de taconita, el cual es demasiado fino para sinterizar, y los pélets han demostrado ser excelentes como material de carga para el alto horno. Así, en los últimos diez años, se ha visto aumentar bruscamente la producción mundial de pélets.

En Japón también se han construido plantas del tipo del millón de toneladas anuales de capacidad, cuyas materias primas principales son los minerales demasiado finos para servir de material para sinterizar, y las cenizas de pirita locales, en tanto que gradualmente aumentan, por otra parte, las importaciones de pélets. En tales circunstancias, se han realizado ensayos comparativos de pélets y sinter en numerosos altos hornos, para llegar finalmente a la conclusión de que los pélets tienen más o menos el mismo efecto que el sinter autofundente. (Véase la Fig. 5). Nuestra posición, pues, es la de usar el que resulte más barato.

Fig. 5. Comparison between Pellet and Self-Fluxing Sinter

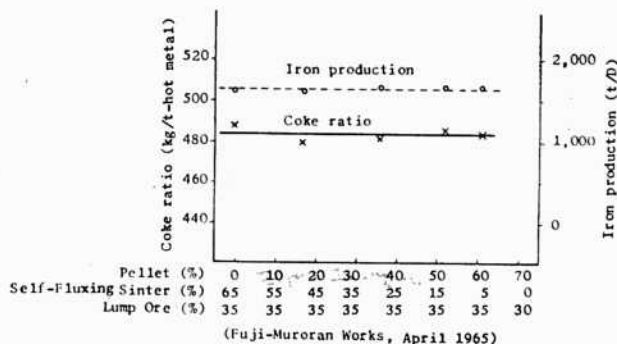


Figura 5 — Comparación entre pelets y sinter autofundente.
Coke ratio (kg/t-hot metal) = Consumo de coque (kg/t-arrabio);
Iron production = Producción de arrabio; Coke ratio = Consumo de coque; Iron production (t/D) = Producción de arrabio (t/D);
Pellet (%) = Pelets; Self-Fluxing Sinter (%) = Sinter autofundente; Lump Ore (%) = Mineral en trozos; (Fuji-Muroran Works, April 1965) = Planta Fuji-Muroran, abril 1965).

Hasta ahora, al menos, no ha habido dificultad en obtener minerales finos para sinterizar, y el costo del sinter en el alto horno es menor que el de los pélets. Además, si bien el sinter se puede ajustar en nuestras propias plantas a cualquiera calidad que se estime más conveniente, los pélets pueden ocasionar problemas como el de hincharse dentro del alto horno, de modo que es inevitable establecer especificaciones de calidad muy rigurosas en el momento de pedir el producto, lo que priva a los pélets, hasta cierto punto, de la flexibilidad que tiene el sinter. En la situación actual, pues, el uso del sinter está mucho más extendido que el de los pélets.

Existe la posibilidad, sin embargo, de que las técnicas de fabricación de pélets mejoren en el futuro, con lo cual se dispondrá de materiales de carga más adecuados para el alto horno, como son los pélets autofundentes, los pélets prereducidos. Además, en Japón, cuya densidad de población es muy elevada, se están acentuando las restricciones sobre el contenido de gases sulfurosos en los gases de desecho de las plantas industriales, y son de esperar ciertas exigencias como la de disminuir el uso de materias primas con elevado contenido de azufre, o la instalación de equipos adecuados para eliminar la contaminación del aire. En este sentido, también, es posible que mejore la posición de los pélets.

Por lo tanto, si bien se espera que el uso de sinter aumente en el futuro, también se puede suponer que el empleo de pélets aumentará en igual medida.

Fig. 6. Production of Sinter and Pellet in Japan (from "The Iron and Steel Statistical Handbook 1967")

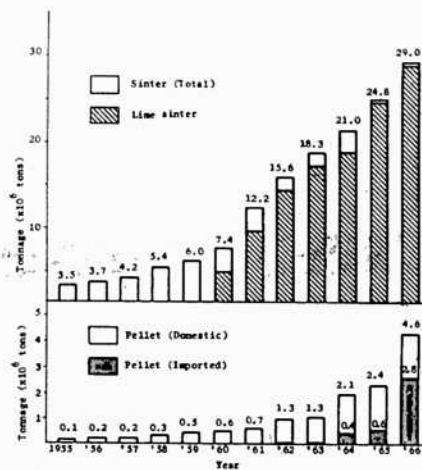


Figura 6 — Producción de sinter y pelets en Japón (de "The Iron and Steel Statistical Handbook 1967")

Sinter (Total) = Sinter (total); Lime sinter = Sinter autofundente; Tonnage (x10⁶ tons) = Cantidad (x10⁶ t.); Pellet (Domestic) = Pelets (domésticos); Pellet (Imported) = Pelets (importados); Year = año.

5. Conclusión.

Las industrias siderúrgicas de Japón buscan hace muchos años la concentración de los minerales con el fin de vencer la situación desventajosa en que se encuentran en cuanto a materias primas. Como consecuencia de ello hoy en día han alcanzado en el alto horno un alto nivel de productividad y bajo consumo específico de coque. Entre otras cosas que se han ensayado se da especial valor al efecto del sinter autofundente; el uso de sinter en el alto horno ha llegado hasta un 65%, con tendencia a subir aún más.

Dicha tendencia continuará en el futuro, y en las nuevas plantas siderúrgicas de Japón aparecerán una tras otra, parejas compuestas por un alto horno de gran tamaño, del tipo de 2000-3000 m³, y una máquina de sinterizar grande, del tipo de 200-300 m². Paralelamente se acelerarán los progresos en las técnicas de fabricación e investigación para la producción de un sinter excelente.

El control continuo de la calidad de los aglomerados Dwight-Lloyd

Prof. P. Coheur,

Administrador-Gerente del

Centre National de Recherches Métallurgiques.

1. Introducción.

Hace muchos años que se sabe que la calidad de los aglomerados y aún sus propiedades y comportamiento en operación tienen relación directa con su estructura mineralógica.

Los métodos clásicos que se utilizan generalmente para determinar dicha estructura son la microscopía óptica y el análisis químico elemental.

Lamentablemente, estos dos métodos de investigación o de control exigen tiempos de operación relativamente prolongados, por lo que presentan sólo un interés limitado para el industrial que debe encarar los problemas de regular las bandas de aglomeración y los altos hornos, y que debe actuar o reaccionar con la máxima celeridad.

Por esta razón se han perfeccionado ensayos específicos bastante rápidos para lograr determinar directamente una u otra de las propiedades de operación de los aglomerados. Entre ellos destacamos, en primer término, el ensayo de resistencia mecánica a la abrasión y al impacto, realizado en tambores rotatorios. El ensayo micum constituye el criterio clásico que se emplea en nuestras plantas y proporciona una medida o un índice que está en estrecha relación con la cohesión del aglomerado y su comportamiento en el alto horno.

Mencionemos en seguida el ensayo de reducibilidad ejecutado según una u otra fórmula. En la figura 1 se encontrará la fotografía de un aparato relativamente simple que puso en marcha nuestro CRNM y que se cuenta en el equipo

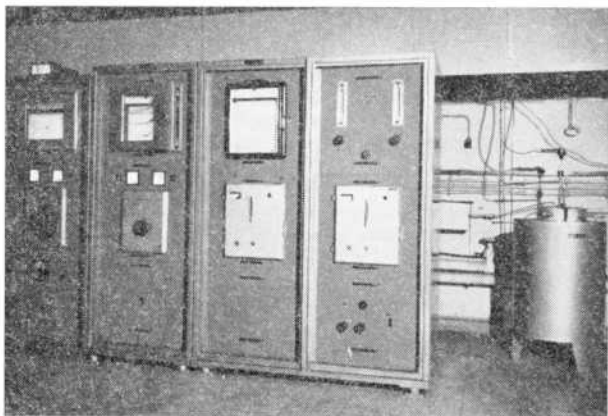


Figura 1 — Dispositivo del C.N.R.M. para medición de la reducibilidad.

de varias de nuestras plantas afiliadas (1) (2) lo cual tiene la ventaja de permitir comparar fácilmente la reducibilidad de los aglomerados producidos en estas plantas.

Estos dos ensayos solos permiten calcular con bastante corrección el consumo de coque o la productividad de un alto horno (3). Desgraciadamente, a pesar de su sencillez y rapidez, aún exigen consumir cierto tiempo de operación y, en consecuencia, no es posible insertarlos dentro de un sistema de control automático e inmediato de la fabricación.

Por esta razón nuestro Centro volvió a estudiar el problema desde un punto de vista enteramente diferente, y diseñó un método original para apreciar en forma continua la calidad de un aglomerado.

2. Principio del método de control continuo.

La idea directora de este método se puede definir en la forma siguiente:

Puesto que las propiedades de operación de los aglomerados se encuentran ligadas directamente a su estructura mineralógica, en principio basta desarrollar un método rápido y simple, si es posible, que permita percibir las variaciones en dicha estructura.

Una primera aproximación a la solución del problema consiste en considerar el hierro bivalente como parámetro característico de la estructura. Este punto de vista se justifica al observar que el hierro bivalente proviene principalmente de la magnetita. La wüstita y las combinaciones complejas que contienen este ion tienden, efectivamente, a disminuir —en Europa— en el conjunto de aglomerados producidos en la actualidad.

Para dosificar el hierro bivalente de la magnetita, o, más exactamente, para seguir las variaciones de su contenido, en principio basta utilizar un aparato de medición magnética.

El aparato que construyó nuestro Centro con tal fin y al que dió el nombre de "permagnag" (4) se compone principalmente de un embobinado eléctrico por cuyo núcleo se hace pasar una cantidad de aglomerado cuya granulometría está comprendida entre 0 y 5 mm. (fig. 2). La frecuencia de resonancia del circuito magnético cerrado sobre la bobina se convierte en señal eléctrica que se transmite al operador. En la fig. 3 se encuentra una fotografía de nuestro aparato.

En el transcurso de varios períodos de ensayos industriales realizados en una de nuestras plantas afiliadas, pudimos establecer que había, efectivamente, tal como lo indica la figura 4, un paralelismo entre la intensidad de la señal y la cantidad de aglomerado que pasa por el instrumento, o aún su grado de piroconsolidación.

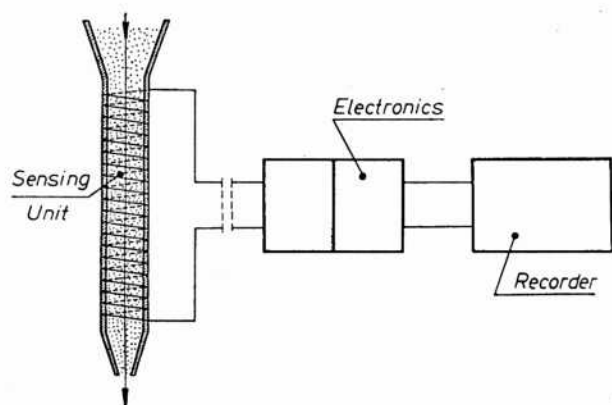


Figura 2 — Diagrama del "Permagnag"
Electronics=Equipo electrónico; Sensing Unit=Unidad sensora;
Recorder=Registrador.

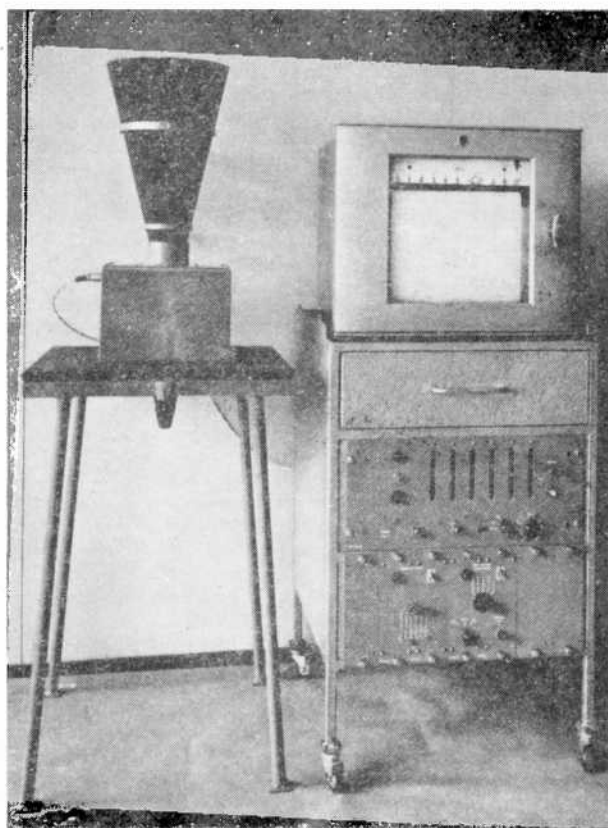


Figura 3 — El "Permagnag". Unidad sensora; equipo electrónico y registrador.

Sin embargo, si llevamos más lejos el análisis del problema, nos damos cuenta de que no nos podemos basar únicamente en el contenido de hierro bivalente (o de magnetita), pues ello equivaldría a atribuir un valor constante al hierro trivalente, sean cuales fueren las combinaciones en que se encuentre.

Ahora bien, este no es el caso, sin duda alguna. Es bien sabido, efectivamente, que la hematita y las ferritas de calcio por ejemplo, no tienen una acción equivalente sobre la cohesión mecánica del aglomerado y su reducibilidad.

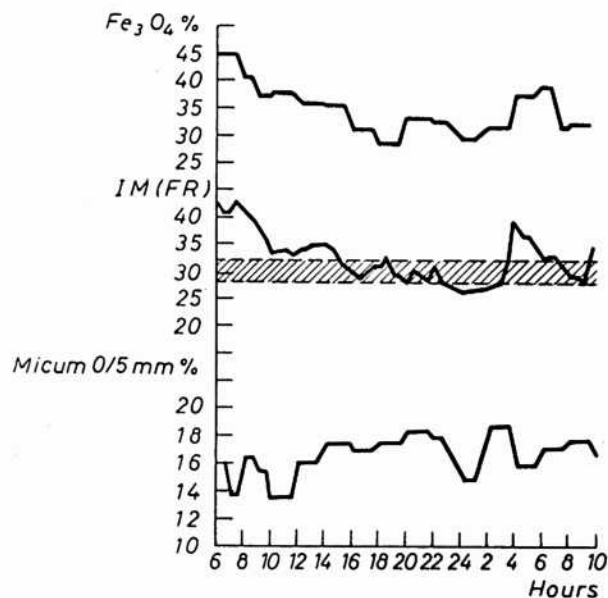


Figura 4 — Variación de la frecuencia de resonancia del "Permagnag", del contenido de Fe_3O_4 y de la resistencia del sínter.
Hours=horas.

Era importante, pues, determinar rápidamente los contenidos de estos elementos y tal fue el objeto de las investigaciones que los especialistas del CNRM pudieron llevar a buen fin gracias a la difracción de los rayos X.

Lamentablemente, aquí también, sea cual fuere la rapidez con que efectuemos las dosificaciones moleculares por difracción de los rayos X, no podemos insertarlos dentro de un sistema de control continuo del aglomerado a semejanza de la medición magnética que vimos anteriormente. El papel que les asignamos entonces es el de explicar a posteriori las desviaciones eventuales de las propiedades magnéticas de los aglomerados según un método original que explicaremos algo más en un próximo párrafo.

Este método implica un conocimiento profundo de las fases mineralógicas en los aglomerados cuya fabricación se quiere controlar. Implica igualmente el conocimiento de las relaciones que existen entre estas distintas fases y las características de operación de los aglomerados, en particular su resistencia mecánica y su reducibilidad.

Examinemos de más cerca los dos aspectos del problema y comencemos por estudiar las fases mineralógicas de los aglomerados.

3. Fases mineralógicas de los aglomerados.

Este estudio ha sido objeto de trabajos de diversos especialistas de nuestro Centro, quienes, además de la difracción de los rayos X que citamos más arriba, emplearon la microscopía óptica y la microsonda electrónica.

Los resultados de sus trabajos se resumen como sigue:

En los aglomerados producidos por nuestras plantas afiliadas han detectado tres clases de compuestos moleculares.

3.1. Hay, en primer lugar, tres óxidos de hierro simples:

Wüstita — FeO
Magnetita — Fe_3O_4
Hematita — Fe_2O_3

Es fácil identificar estos óxidos en microscopía óptica, como lo indica la figura 5. Además se puede determinar rápidamente su concentración molecular y con suficiente precisión siguiendo un método de difracción de los rayos X que aplicaron nuestros expertos (5).

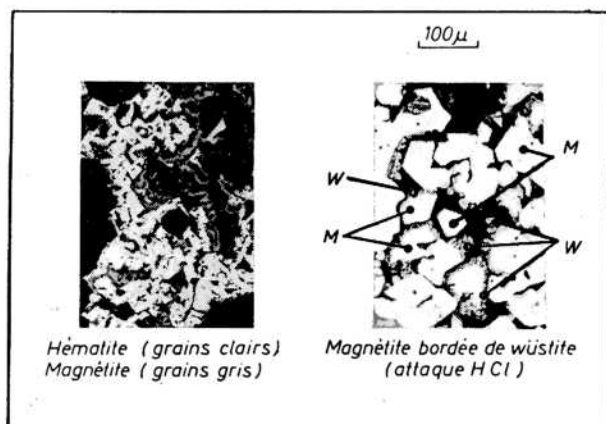
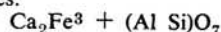


Figura 5 — Oxidos de hierro en los aglomerados.
Hématite (grains clairs)=Hematita (granos claros); Magnétite (grains gris)=Magnetita (granos grises); Magnétite bordée de wüstite (attaque con HCl)=Magnetita bordeada de wüstita (ataque con HCl).

3.2. En seguida hay dos fases cristalizadas complejas (6).

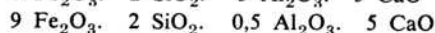
La primera es pobre en hierro. Se trata de un alúmino-silicato del tipo gehlenita ferrífera cuya fórmula estequiométrica es:



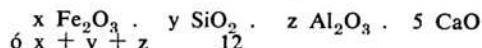
Designaremos esta fase con el símbolo GH.

Según el origen de los minerales utilizados, las mezclas por aglomerar y la forma de piroconsolidación, esta gehlenita puede contener en solución sólida otras moléculas complejas, tales como los alúmino-silicatos.

La segunda es rica en hierro y en calcio, y contiene un poco de sílice y alúmina. Su estructura deriva de la hemiferita de calcio $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaO}$ y pudimos identificar especialmente las dos formas siguientes:



que corresponden a la fórmula general



Designaremos esta segunda fase con el símbolo S.F.C.A. (silicoferritas de cal y de alúmina).

Para ilustrar lo que acabamos de decir, la figura 6 da un espectrograma de difracción de rayos X en el cual hemos indicado los dos óxidos simples Fe_2O_3 y Fe_3O_4 y las dos fases complejas GH y S.F.C.A. Además, se encontrará en la figura 7 una micrografía que muestra un aspecto de cada una de ellas.

Además de identificarlas, nuestros especialistas perfeccionaron un sistema de dosificación que no proporciona sus concentraciones moleculares absolutas sino que sus valores relativos, en comparación con una escala arbitraria.

3.3. Finalmente, fuera de las fases cristalinas simples o complejas, se observa en el microscopio óptico (fig. 7) una fase vítrea compuesta, según creemos, de un alúminosilicato de calcio con cierta cantidad de hierro disuelto.

De lo anterior parece desprenderse que los aglomerados fabricados en Europa tienen estructuras mineralógicas más

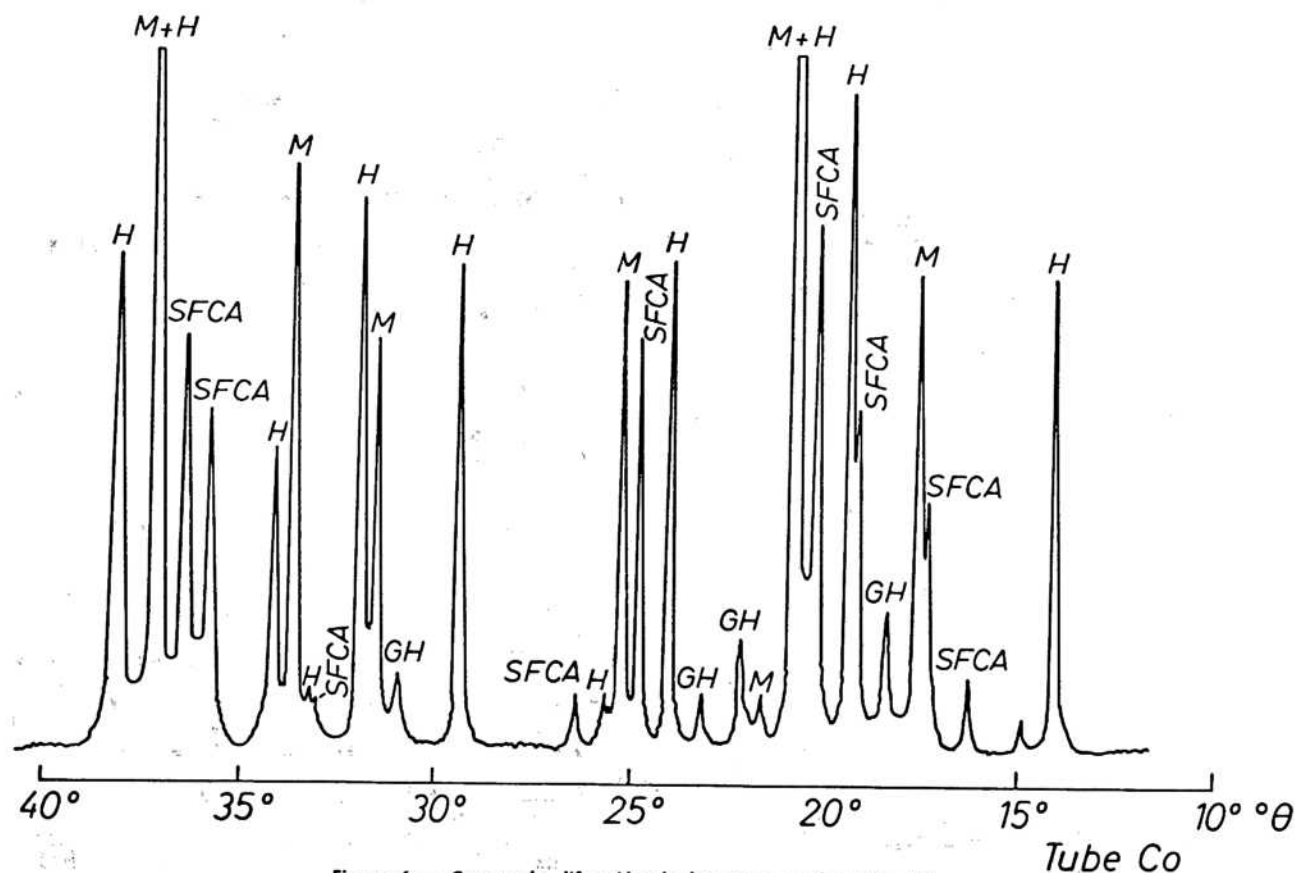


Figura 6 — Curvas de difracción de los rayos en hematita (H); magnetita (M); gehlenita (GH); SFCA.

Fig.6 _

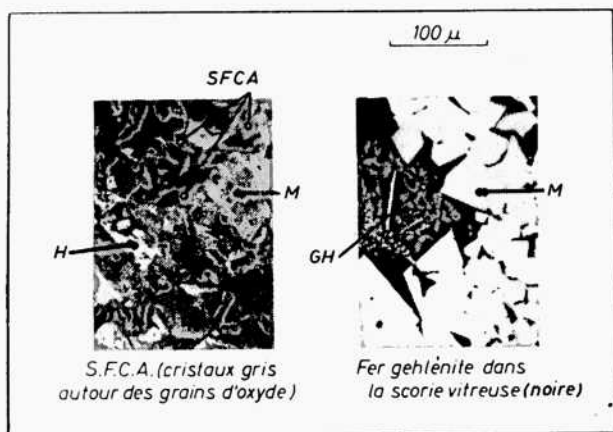


Figura 7 — Fases complejas.

S.F.C.A. (cristaux gris autour des grains d'oxyde)=S.F.C.A. (Cristales grises en torno de los granos de óxido); Fer gehlénite dans la scorie vitreuse (noire)=Fierro gehlénita en la escoria vítrea (negra).

complejas que las que cita generalmente la literatura, ya que no logramos identificar ferrita de calcio, ni fayalita, etc. salvo en las mezclas sintéticas ejecutadas en nuestros laboratorios.

4. Sobre la cohesión y la resistencia mecánica.

Luego de haber identificado y dosificado las diversas fases mineralógicas de los aglomerados, examinemos ahora el papel que desempeñan estas fases en la cohesión o en la resistencia mecánica de los aglomerados.

4.1. Cohesión mecánica.

La cohesión mecánica depende esencialmente, por una parte, de la solidez de la ligazón entre los óxidos simples de hierro y la escoria, y, por otra, de la dureza de la escoria misma, compuesta de aluminosilicatos de calcio.

En cuanto a la ligazón entre óxido de hierro y escoria, se pueden producir dos casos. En el curso del fritado el ataque químico del óxido de hierro por los elementos de la ganga hace aparecer un compuesto nuevo en la interfaz, que asegura la soldadura entre óxidos de hierro y la ganga (6). Este compuesto intermediario puede ser la fase S.F.C.A., tal como lo señalan las micrografías de la figura 8.

Una segunda posibilidad reside en la difusión de un elemento químico de la escoria en el interior del óxido de hierro (7), como lo ilustra la micrografía de la figura 9. La imagen óptica reproduce el aspecto general de la estructura del aglomerado. Entre dos cristales de magnetita situados al interior del pequeño rectángulo existe una ligazón debida a una fina capa de escoria. La microsonda restituye la imagen tomada con la raya $K\alpha$ del Ca. La escoria aparece en la zona blanca rica en calcio. En ambas partes se puede ver cierta difusión del calcio que se produce en los cristales de magnetita (zonas oscuras de la foto). Este fenómeno de difusión asegura cierta continuidad en la estructura y por consiguiente es favorable a la cohesión del conjunto.

Además de la ligazón entre óxido de hierro y escoria, dijimos que la propia dureza de la escoria tiene su importancia. Los elementos cristalizados de formas alargadas y compuestos de nuestras fases GH y S.F.C.A. pueden desempeñar un papel favorable, porque dan rigidez a la escoria o a veces ligan directamente los cristales de magnetita entre ellos. Es lo que se ilustra en las micrografías de las figuras 10 y 11.

4.2. Resistencia mecánica.

Estudiemos ahora la resistencia mecánica de los dos tipos de aglomerados industriales, de los cuales el primero contiene, además de hematita y magnetita, la fase GH, y el segundo, además de dichos óxidos simples, la fase S.F.C.A.

4.2.1 El primer tipo de aglomerado se fabrica en una de nuestras plantas afiliadas. Al tomar muestras de aglomerado sistemáticamente, todos los días, durante dos períodos de varias semanas separados ambos por algunos meses, logramos comprobar que la resistencia mecánica determinada en el tambor micum estaba directamente relacionada con las respectivas concentraciones de hematita y magnetita (8). Esta relación se ilustra en la figura 12, en la cual señalamos las curvas "de isomicum" (0/5 mm) obtenidas a partir de un aglomerado cuya granulometría es de 10/40 mm. De los contenidos de hematita y magnetita se puede entonces predeterminar la resistencia micum del aglomerado producido en la planta estudiada, que es lo que indica la figura 13, donde se muestra la correlación que existe entre el valor del micum calculado a partir de los contenidos de hematita y magnetita y el micum efectivo.

Comprobamos, además, que cuando la composición de la mezcla cruda permanece constante, es decir, durante períodos que fluctuaban entre varias horas y varios días, la concentración de hierro en las fases GH o vítreas no se modificaba. Durante tales períodos, toda modificación en la piroconsolidación acarrea una variación en las concentraciones relativas de hematita y magnetita. Todo sucede como si hubiera una transformación recíproca entre estos dos óxidos simples y el grado de esta transformación refleja la intensidad de la piroconsolidación (9).

En la figura 14 representamos esta transformación recíproca entre la hematita y la magnetita con tres rectas de segmentos. Estas tres rectas corresponden a tres mezclas crudas cuya concentración de hierro combinado en la fase GH o vítrea es de 3, 8 y 13%.

Si se superponen las figuras 12 y 14 obtenemos la figura 15 que nos proporciona un medio simple de controlar la piroconsolidación del aglomerado. En efecto, si se conoce la posición de la recta de transformación, el contenido de un sólo óxido se convierte en el parámetro característico de la calidad (fig. 16).

Basta entonces seguir las variaciones de la concentración de magnetita para determinar las de la resistencia mecánica. Se deduce que el captador magnético que diseñamos basta para controlar en forma continua la calidad del aglomerado.

El análisis por difracción de los rayos X sirve para verificar periódicamente la posición de la recta de transformación.

4.2.2. Continuemos con el segundo tipo de aglomerado, esto es, el que contiene, además de magnetitas y hematitas, la fase S.F.C.A.

En el caso de la planta que produce este aglomerado, el índice de basicidad CaO/SiO_2 es superior al del aglomerado que acabamos de examinar.

Al tomar una serie de muestras, como se hizo antes, y completarlas por ensayos en nuestra cuba experimental de aglomeración, logramos dejar en claro (fig. 17) la influencia que ejerce la temperatura de aglomeración, es decir el consumo de combustible, sobre el desarrollo de estas tres fases (9).

Se puede observar que cuando crece el contenido de combustible crudo la magnetita se forma a expensas de la hematita; luego aparece la fase S.F.C.A., en tanto que el desarrollo de la magnetita se ve notablemente disminuido; por fin, la fase S.F.C.A. se descompone dando magnetita. En el mismo diagrama señalamos el índice micum (cifras en el interior del círculo). Se observa que la resistencia pasa por un máximo (índice mínimo, M 0/5) y que la fase S.F.C.A. alcanza el máximo de concentración. Con un contenido de combustible demasiado elevado, la resistencia se deteriora. Es ventajoso, pues, favorecer la aparición de la fase S.F.C.A.

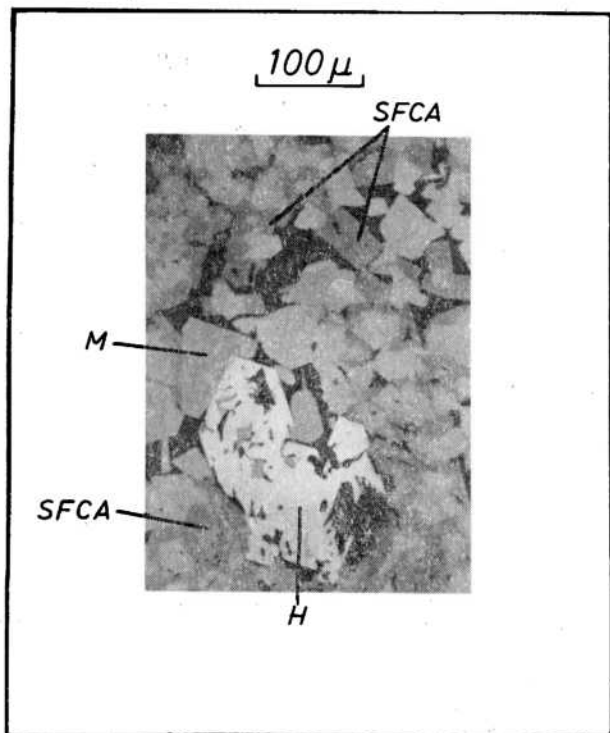


Figura 8 — Ligazón entre la ganga y los óxidos de hierro por S.F.C.A.

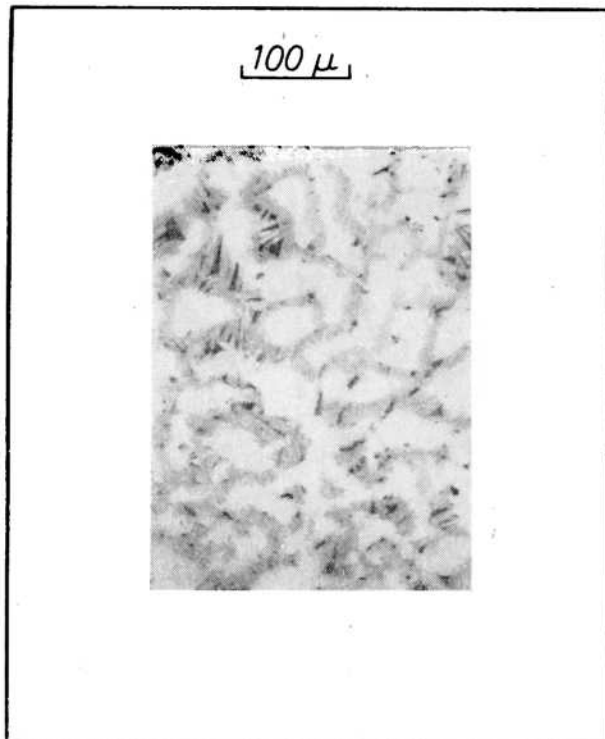


Figura 9 — Difusión del calcio en los óxidos de hierro.
Optique=óptica; Image électronique du calcium (raie $K\alpha Ca$)=
Imagen electrónica del calcio (raya $K\alpha Ca$).

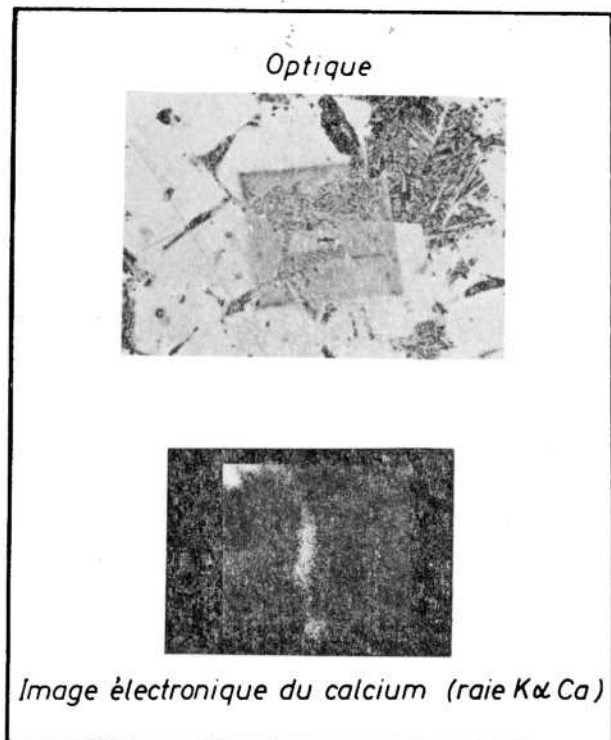


Figura 10 — S.F.C.A. en forma de palillos o agujas.

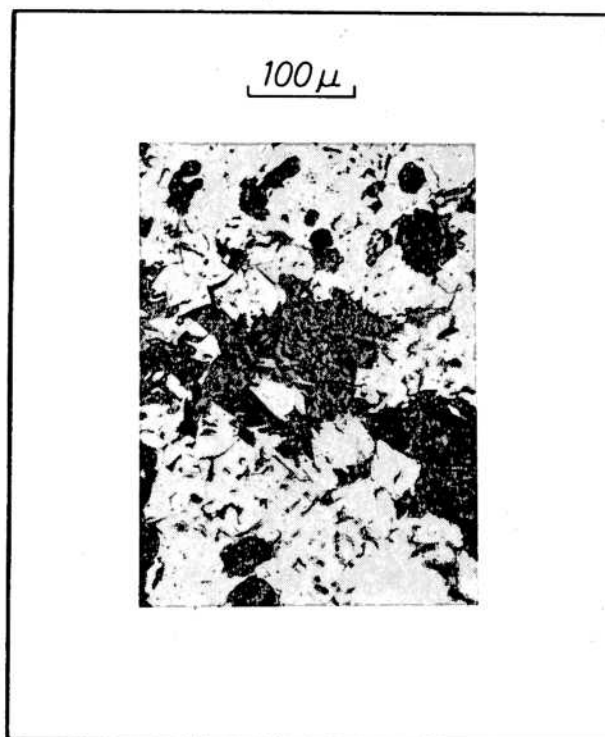


Figura 11 — Dendritas de hierro gehlenita en la ganga.

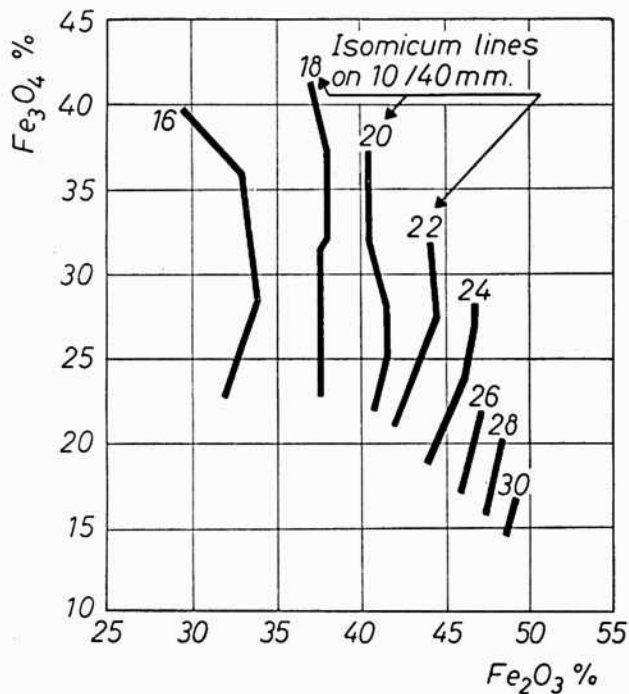


Figura 12 — Relación entre el índice de resistencia y la composición molecular de un sinter.

Isomicum lines on 10/40 mm. = Líneas isomicum en 10/40 mm.

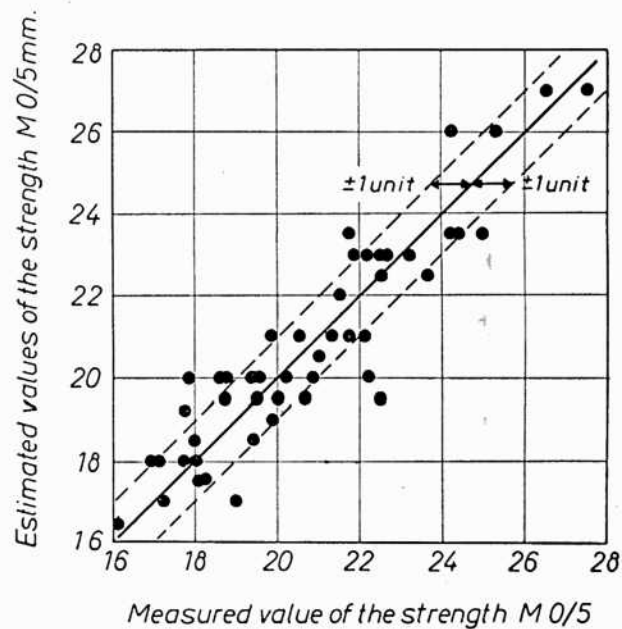


Figura 13 — Relación entre los valores medidos de la resistencia del sinter y los valores estimados de la composición molecular del sinter.

Estimated values of the strength M 0/5 mm. = Valores estimados de resistencia M 0/5 mm; unit = unidad; Measured value of the strength M 0/5 = Valor medido de la resistencia M 0/5.

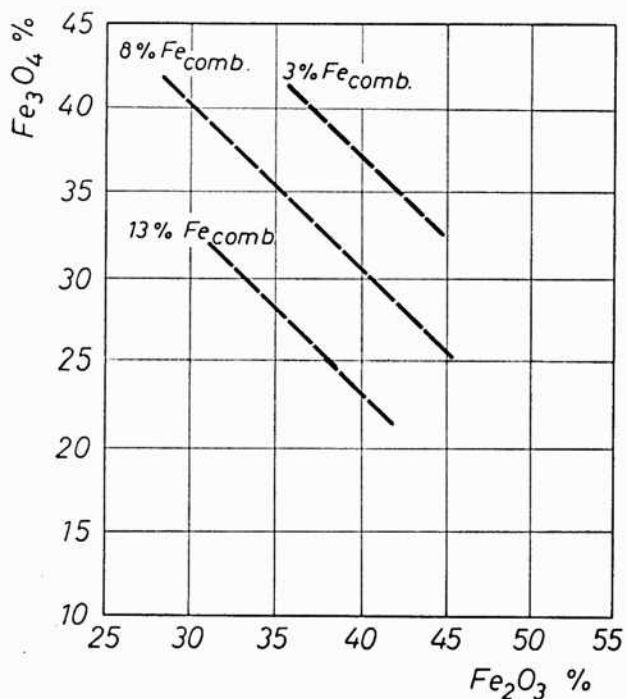


Figura 14 — Efecto de tres cambios, en la composición de la mezcla cruda, sobre la reacción $\text{Fe}_2\text{O}_3 = \text{Fe}_3\text{O}_4$ en sinter.

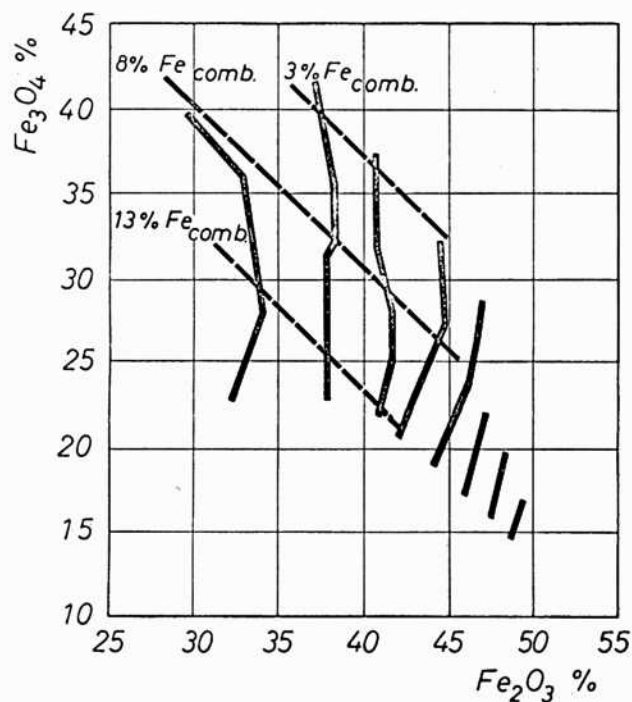


Figura 15 — Posiciones respectivas de las líneas isomicum y las de transformación de $\text{Fe}_2\text{O}_3 = \text{Fe}_3\text{O}_4$.

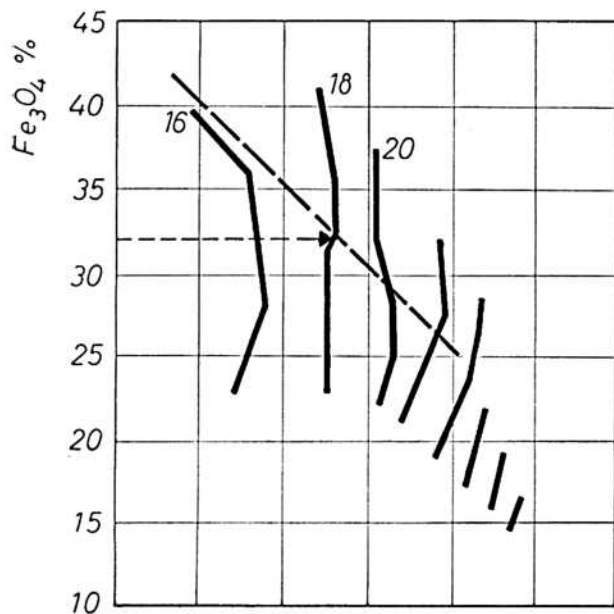


Figura 16 — Determinación del índice de resistencia en función del contenido de magnetita del sinter y de la posición de la línea de transformación de $\text{Fe}_2\text{O}_3 = \text{Fe}_3\text{O}_4$.

El estudio de este diagrama muestra de inmediato la posibilidad de controlar la cocción del aglomerado y de ajustar su contenido de combustible. Efectivamente, si se conocen los contenidos límites de magnetita que corresponden al máximo de la concentración de S.F.C.A., se puede emplear un analizador magnético para conducir la cocción. Aquí también el análisis por difracción de los rayos X servirá para graduar la señal del aparato magnético y verificar periódicamente si la consigna que se respeta corresponde a un máximo de concentración de la fase S.F.C.A.

5. Reducibilidad.

La resistencia mecánica del aglomerado no es la única propiedad de operación que se puede poner en relación con la composición molecular del aglomerado (10).

Así, al examinar numerosas muestras tomadas en nuestras distintas plantas afiliadas pudimos establecer (fig. 18) una relación única, para todas nuestras plantas, entre la reducibilidad medida según la técnica del C.N.R.M. y el "análisis" del aglomerado.

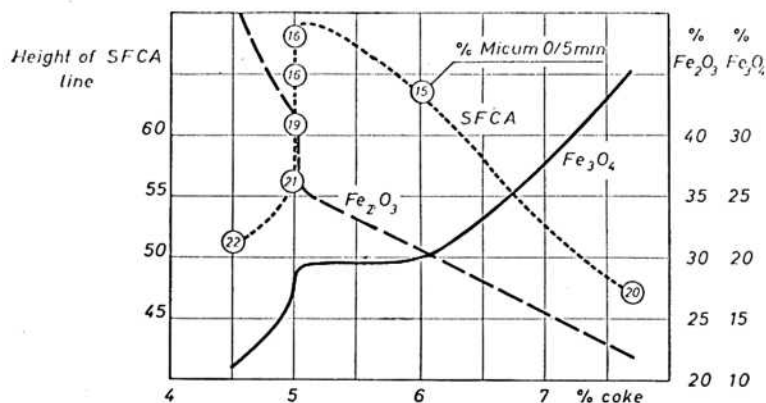


Figura 17 — Influencia del contenido de combustible en la composición del sinter.
Height of SFCA line = Altura de la línea de SFCA.

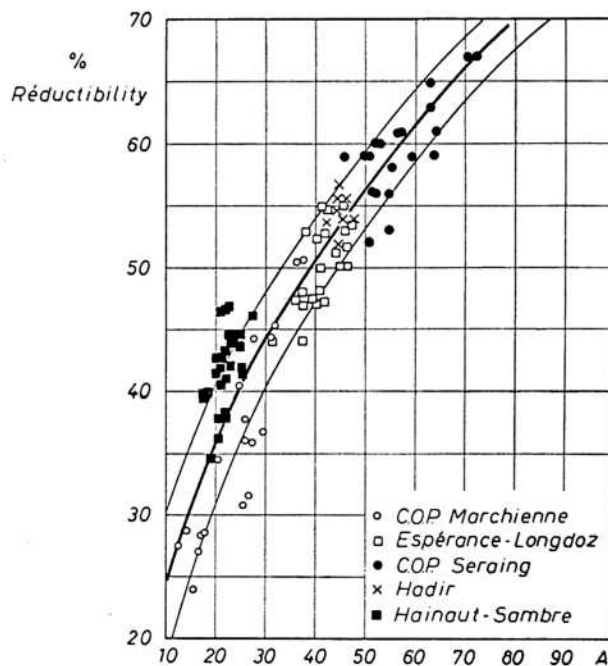
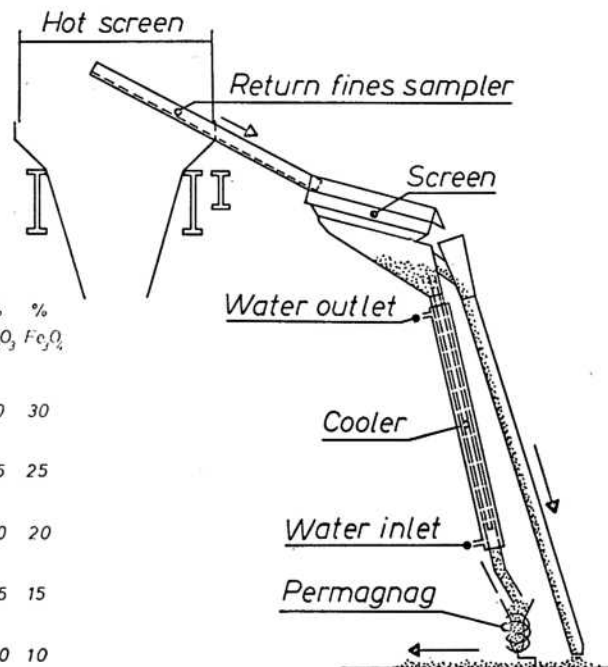


Figure 18 — % Réductibility = % de reducibilidad.

Figura 19 — Diagrama de la instalación del Permagnag en E.L. (Espérance Longdoz).

Hot screen = Tamiz en caliente; Return fines sampler = Muestreador de finos de retorno; Screen = Tamiz; Water outlet = Salida de agua; Cooler = Enfriador; Water inlet = Entrada de agua; Permagnag = Permagnag.



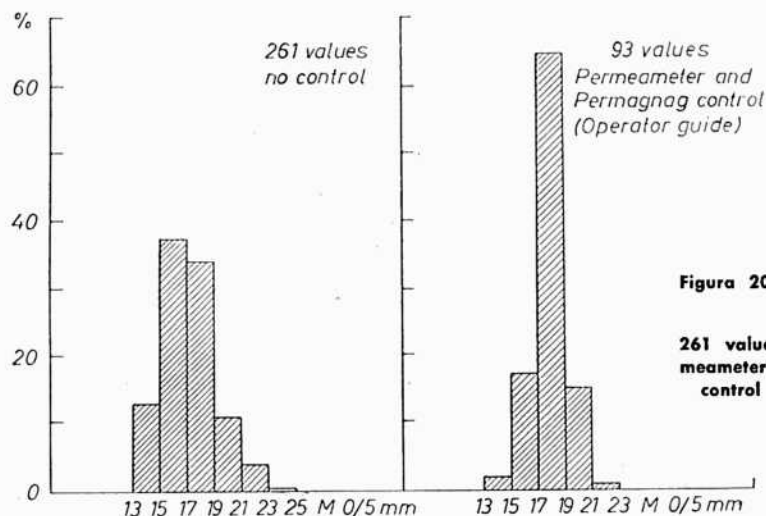


Figura 20 — Resistencia del sinter con y sin control por Permeameter and Permagnag control (Operator guide).

261 values no control=261 valores sin control; 93 values Permeameter and Permagnag control (Operator guide)=93 valores control de permeámetro y permagnag (guía del operador).

De hecho, colocamos en la abscisa el valor A de una expresión algebraica que toma en cuenta las concentraciones de hematita, fases S.F.C.A. y hierro total del aglomerado.

6. Aplicaciones industriales.

El método de control de la calidad de los aglomerados que acabamos de exponer se aplica actualmente en varios talleres de aglomeración de nuestras plantas afiliadas o de plantas extranjeras.

El aparato magnético se coloca, por ejemplo, debajo de la criba de finos de retorno, tal como se ve en el esquema de la figura 19. El aparato se alimenta en forma continua (11) (12).

Para ilustrar el valor de nuestro método se encuentran en la figura 20 dos histogramas de la variación del índice micum de un aglomerado antes y después de la instalación de nuestro "permagnag".

Actualmente consideramos la posibilidad de automatizar el cierre del circuito que relaciona la señal magnética que entrega nuestro "permagnag" con la dosificación del combustible.

Para asegurar que nuestro método funcione bien es preciso respetar tres condiciones:

- i.1 Es necesario que el punto de penetración del frente de llamas se encuentre sobre la banda de aglomeración. En efecto la cocción de un aglomerado descargado antes de que el frente de llamas haya recorrido todo el espesor de la mezcla depositada sobre la parrilla no mejorará por acción sobre el combustible.
- i.2. El frente de llamas debe avanzar normal y regularmente en forma de asegurar una cocción homogénea. Si se obtuviera sistemáticamente una masa formada de partes sobrecocidas y otras sin cocer, el análisis molecular por rayos X o el análisis magnético efectuado sobre muestras representativas de la composición media revelaría una estructura promedio que de hecho no existe y que conduciría a conclusiones erradas.
- i.3. Los cambios en combustible deben tener en cuenta las demoras de la reacción. Estos períodos son relativamente largos en los esquemas de aglomeración donde las tolvas de combustible se encuentran a la cabeza de los circuitos. Desde este punto de vista, sería conveniente intercalar en el circuito una tolva de corrección, inmediatamente antes del primer mezclador. Dos puntos 1 y 2 señalan la necesidad de controlar estrechamente la permeabilidad de la capa por aglomerar.

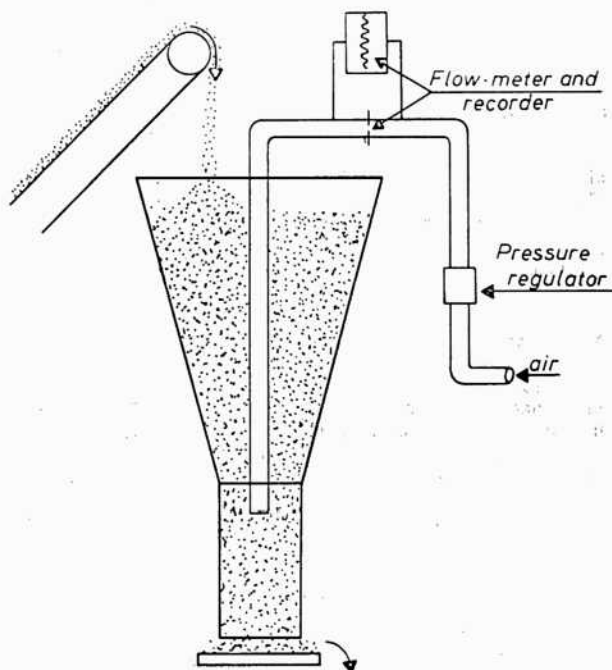


Figura 21 — Diagrama del dispositivo para medir la permeabilidad de la mezcla cruda para sinter.

Flow-meter and recorder=medidor de flujo y registro; Pressure regulator=regulador de presión; Air=aire.

Con este fin hemos diseñado un equipo captador ("permeámetro") muy sencillo que proporciona directamente la medida buscada (13).

En principio (fig. 21) este captador —instalado en la tolva de alimentación de la banda o, en su defecto, en una criba auxiliar— mide en condiciones normalizadas la pérdida de carga o la variación de pérdida de carga de aire soplado en la mezcla cruda.

En una operación equilibrada de finos de retorno, el operador regula la cantidad de agua en función de las indicaciones que le proporciona nuestro "permeámetro". Aquí también estamos automatizando esta regulación.

7. Conclusiones.

Terminaremos por señalar el hecho de que los dos captores de medición que nuestros especialistas han perfeccionado permiten resolver el problema del control continuo de la calidad de los aglomerados.

Un argumento subjetivo en favor de nuestro método es que, en cierta planta, las reclamaciones a veces cotidianas, que el técnico del alto horno solía dirigir al operador de la línea de aglomeración, cesaron desde que se empezó a aplicar nuestro método.

BIBLIOGRAFIA

- (1) B. BERG, J. HANCART, A. POOS: "Réductibilité des agglomérés" — R. U. M. N° 3, 1962.
- (2) P. LECOMTE, R. VIDAL, A. POOS: "Quality test for ores, sinters and pellets" — C.N.R.M. Metallurgical Reports, N° 14, mars 1968.
- (3) A. POOS, R. VIDAL, N. PONGHIS: "Laborversuche an Erzen, Sintern und Pellets und ihre Aussagekraft für das Verhalten des Möller im Hochofen" — Neue Hütte 12, Heft 9, Sept. 1967.
- (4) G. MEUNIER, R. HOLPER: "Continuous measurement of sinter quality" — C.N.R.M. Metallurgical Reports, N° 9, 1966.
- (5) J. HANCART: "Analyse moléculaire quantitative par diffraction des rayons X" (thèse de doctorat) — Vaillant Carmanne, Liège, 1964.
- (6) J. HANCART, V. LEROY, A. BRAGARD: "Investigation of the phases present in blast furnace sinters. Considerations on their mechanism of formation" — C.N.R.M. Metallurgical Reports, N° 11, 1967.
- (7) A. BRAGARD, H. BONNARENS, V. LEROY, J. HANCART: "Untersuchung des Einflussgrößen auf die Sinterung zweier Hämatiten" — C.N.R.M. Metallurgical Reports, N° 5, 1965.
- (8) A. BRAGARD: "Control and Automation of the Sintering Process" — Publication 102 — Ironmaking to morrow, Iron and Steel Institute, 1967.
- (9) A. BRAGARD, J. HANCART: "Application of molecular and magnetic analysis to the regulation of Sintering Strand" — Iron and Steel Engineer — February 1968.
- (10) A. DECKER, A. POOS, A. BRAGARD: "Reducibility and other Burden Properties and their Correlation on Blast furnace Performance" — Proceedings of the 26 Ironmaking Conference — Chicago — Dec. 1967.
- (11) G. MEUNIER, A. HERMAN: Application du permagnétisme et du perméamètre du C.N.R.M. au réglage de la bande d'agglomération d'Esperance—Longdoz" — Rapport interne C.N.R.M. DS 76/67.
- (12) A. BRAGARD: "Application of Control and Automation methods to the Sintering Process in the Benelux countries" — Communication à présenter à la III BISRA Automation Conference, Eastburne.
- (13) G. MEUNIER: "Continuous measurement of the permeability of a sinter mix" — C.N.R.M. Metallurgical Reports, N° 9, 1966.

Cinco años de producción de Pélets

Ing. HERMAN A. HALUPKA

Superintendente General - Beneficio, Marcona Mining Co.

Ing. LUIS F. MORAN

Superintendente - Beneficio, Marcona Mining Co.

Marcona está produciendo en la actualidad 3.300.00 toneladas de pelets por año de mineral de hierro, con aceptación en el mercado siderúrgico mundial y con posibilidades de aumentar esta producción anual.

El presente trabajo es la exposición de los progresos alcanzados a través de cinco años de operación de dos hornos para fabricar pelets con el sistema de parrilla deslizante, patente Dravo-Lurgi.

En este trabajo omitimos la parte descriptiva de nuestras operaciones que ya han sido ampliamente expuestas en previos trabajos presentados en Congresos de ILAFA.⁽¹⁾

I. Introducción.

Marcona Mining Company se inició en la producción de mineral de hierro en 1953, exportando solamente mineral de embarque directo. En el año 1962 empezó a trabajar el complejo metalúrgico de San Nicolás para beneficiar y concentrar minerales de hierro; dándose inicio a la producción de pelets en 1963. En la actualidad la capacidad anual es de 9.000.000 de toneladas largas de concentrados, de los cuales 3.300.000 corresponden a pelets.

Desde que comenzó la producción de pelets, a la fecha, ha habido una serie de cambios, modificaciones y controles que nos han permitido llegar al nivel de producción de hoy.

Nuestras instalaciones cuentan con un horno Lurgi que se puso en operación en 1963, y que fue diseñado para 1.000.000 de toneladas largas por año, tonelaje que se ha logrado producir después de haber modificado el proceso y el horno.

En el año 1965, se puso en operación un horno de Dravo diseñado para una producción anual de 2.000.000 toneladas largas, y que produce actualmente 2.300.000.

A continuación exponemos las técnicas establecidas para alcanzar la producción que sobrepasa la capacidad proyectada.

II. Descripción de instalaciones de San Nicolás y proceso para fabricar pelets.

A) MOLIENTA Y CONCENTRACION.

El mineral primario, magnetita, es chancado a 20 mm y pasado por los molinos de barras en circuito abierto, seguido de ciclones y separadores magnéticos. Los concen-

trados se pasan por los molinos de bolas en circuito abierto y luego por los separadores magnéticos para producir el concentrado final. En esta etapa se controla el grado de molienda y la composición química del concentrado.

B) FILTRACION.

Para la fabricación de los pelets es necesario un concentrado con un grado uniforme de humedad; para ello, el concentrado pasa por un espesador de 104' de diámetro para espesarse y deslamarse, almacenándose luego en tanques agitadores para homogenizarse y de allí pasar a filtros de discos y convertirse en concentrado filtrado con $8.7 \pm 0.1\%$ de humedad.

C) BOLAS VERDES.

El proceso de aglomeración comienza con la formación de bolas verdes, que se hacen en los platos peletizadores. La bola verde no es otra cosa que una píldora hecha con el concentrado, formada por un continuo ciclo de rotaciones, similar a la formación de bolas de nieve cuando al rodar por una pendiente resultan redondas. La calidad de las bolas verdes determina la permeabilidad de la cama en el proceso de endurecimiento.

D) ENDURECIMIENTO.

El endurecimiento se realiza en hornos, patente Dravo-Lurgi, que son hornos de parrilla deslizante dentro de un túnel con quemadores a los costados y con ventiladores que hacen circular los gases a través de una capa de pelets o cama, unas veces de abajo hacia arriba y otras veces a la inversa, de acuerdo a las necesidades del proceso. Las fases que siguen a la bola verde para endurecer son: Secado, Pre-quemado, Quemado, Enfriamiento.

La fuente calorífica utilizada es el petróleo Bunker "C".

III. Preparación del concentrado de mineral de hierro para ser peletizado.

Nuestro mineral es magnetita, el cual es molido y concentrado por separación magnética. El criterio de molienda es el moler lo más grueso posible sin afectar la calidad del pelet.

Estas operaciones son controladas de la siguiente forma:

A) GRADO DE MOLIENTA.

Tratamos de producir un concentrado con una superficie específica de 1500 cm²/gr. y con una variación no mayor de 50 unidades. Nuestros molinos de bolas trabajan en circuito abierto y producen el mismo tonelaje con mayor superficie específica.

(1) "Comercialización de los minerales del yacimiento de Marcona", por el Ing. Luis Remy Valdivieso (1964).

"Concentración por gravedad y medios densos del mineral de hierro de Marcona", por los Ings. Herman A. Halupka y René Rosas (1965).

Se ha experimentado que más práctico es controlar la molienda con la determinación de la superficie específica en vez del análisis por mallas; la molienda es controlada en cuatro sitios de muestreos, cuyo ciclo completo dura dos horas:

1. Descarga de los separadores magnéticos.
2. Pulpa total alimentada al espesador.
3. Descarga del espesador.
4. Concentrado filtrado.

Todas las operaciones son hechas con agua de mar, hecho que afecta en la determinación de la superficie específica; es por eso que todas las muestras son lavadas con agua destilada antes de procesarlas. La diferencia de unidades entre las determinaciones con agua destilada y con agua de mar es de 200 unidades, siendo mayor la de agua destilada.

B) RELACION FIERRO-SILICE.

Cuando comenzaron nuestras operaciones, tratamos de producir un concentrado rico en hierro (más de 69%) y lo más bajo en sílice (menos de 2%) pero, por requerimientos de nuestros clientes nuestra meta actual es producir un concentrado de $65.5\% \text{ Fe}$ y $4.0\% \pm 0.2\% \text{ SiO}_2$. Para producir este concentrado usamos separadores magnéticos de sólo dos tambores para la concentración final agregándole al concentrado, en los tanques agitadores, arena de duna molida. Cada hora se analiza el porcentaje de insolubles, siendo éste dato básico para la adición de la arena molida.

Al porcentaje obtenido en el análisis de insolubles se le aplica un factor para calcular el porcentaje de SiO_2 en el concentrado, siendo lo más cerca posible a 4.0% y que las variaciones sean menos de $\pm 0.2\%$.

C) INFLUENCIA DEL AZUFRE.

Hemos encontrado que el porcentaje de azufre (piritas) tiene la siguiente influencia en la peletización:

1. Afecta la resistencia de pelets, la compresión y limita la producción.
2. Afecta el porcentaje de FeO en los pelets.
3. Produce gases sulfurosos que afectan al personal.
4. Alta corrosión en el equipo.

La solución que se va a emplear es flotar las piritas antes del espesador, con lo cual se espera reducir el azufre alrededor a menos de 0.4% . La influencia del contenido del azufre en el concentrado la hemos observado correlacionando la calidad de los pelets con el contenido del azufre. La explicación real de cómo interfiere el azufre la continuamos investigando, pero sí conocemos perfectamente los efectos que produce. Actualmente estamos instalando un circuito de flotación para procesar toda la pulpa procedente de la concentradora y eliminar la mayor cantidad de piritas, con lo cual conseguiremos, además de mejorar la calidad, superar las condiciones ambientales de la planta y así mismo, ajustar nuestras condiciones de operación. Con la eliminación de piritas por flotación se espera aumentar la resistencia a la compresión de pelets y reducir el porcentaje de FeO .

D) CONTROL DE HUMEDAD.

La operación de filtrado se hace en una planta aparte, en la que se prepara un concentrado filtrado que tenga 8.7% de humedad y que no pase de los límites de 8.6 a 8.8% . La humedad se determina cada hora y los resultados se comunican inmediatamente a los operadores de filtros y operadores de platos peletizadores.

Los factores que se tienen en cuenta para producir un concentrado filtrado uniforme son:

1. Grado de molienda.— Si la molienda es gruesa, el producto filtrado sale muy seco; si la molienda es muy fina, la filtración es más difícil y la producción resulta muy húmeda.

2. Condiciones de Operación.— Mantenemos la mayor uniformidad posible y que los filtros tengan reboso. Las paradas muy frecuentes o arranques afectan la producción.
3. Control del Medio Filtrante.— Un programa de cambio continuo de sacas hace que se mantenga uniforme el tonelaje.

E) CONTROL DE BENTONITA.

La bentonita la utilizamos por las siguientes razones:

1. Para producir bolas verdes más resistentes y de tamaño uniforme.
2. Para compensar la finura del concentrado cuando éste es grueso.
3. Para controlar la humedad y distribuirla en toda la masa del pelet.

En la actualidad estamos utilizando bentonita proveniente de la parte Norte del país (Talara) y nuestro consumo promedio es de $6,500 \text{ gr.}$ por tonelada larga. La adición de bentonita, así como la producción que se usa, depende de la habilidad del operador de discos, ya que éste sin haber recibido la información de los cambios de la finura del concentrado o su humedad, detecta y ajusta la cantidad de bentonita sin ayuda o información alguna de la Sección Procesos de Control.

IV. Control de bolas verdes.

Nuestra meta es producir la mayor cantidad de bolas verdes con un tamaño promedio entre 15 a 5 mm. y reducir dentro de lo posible la diferencia de tamaños de estas bolas.

La producción de pelets depende de la calidad de las bolas verdes y ésta se controla de la siguiente manera:

1. Tamaño.— Tratamos de producir 90% de bolas entre 15 y 5 mm. de diámetro.
2. Prueba de caídas.— Buscamos entre 5 y 9 caídas de una altura de 450 mm.
3. Compresión húmeda.— Buscamos entre 700 y 800 gr. de resistencia.
4. Compresión seca.— Buscamos entre 2500 y 3000 gr. de resistencia.

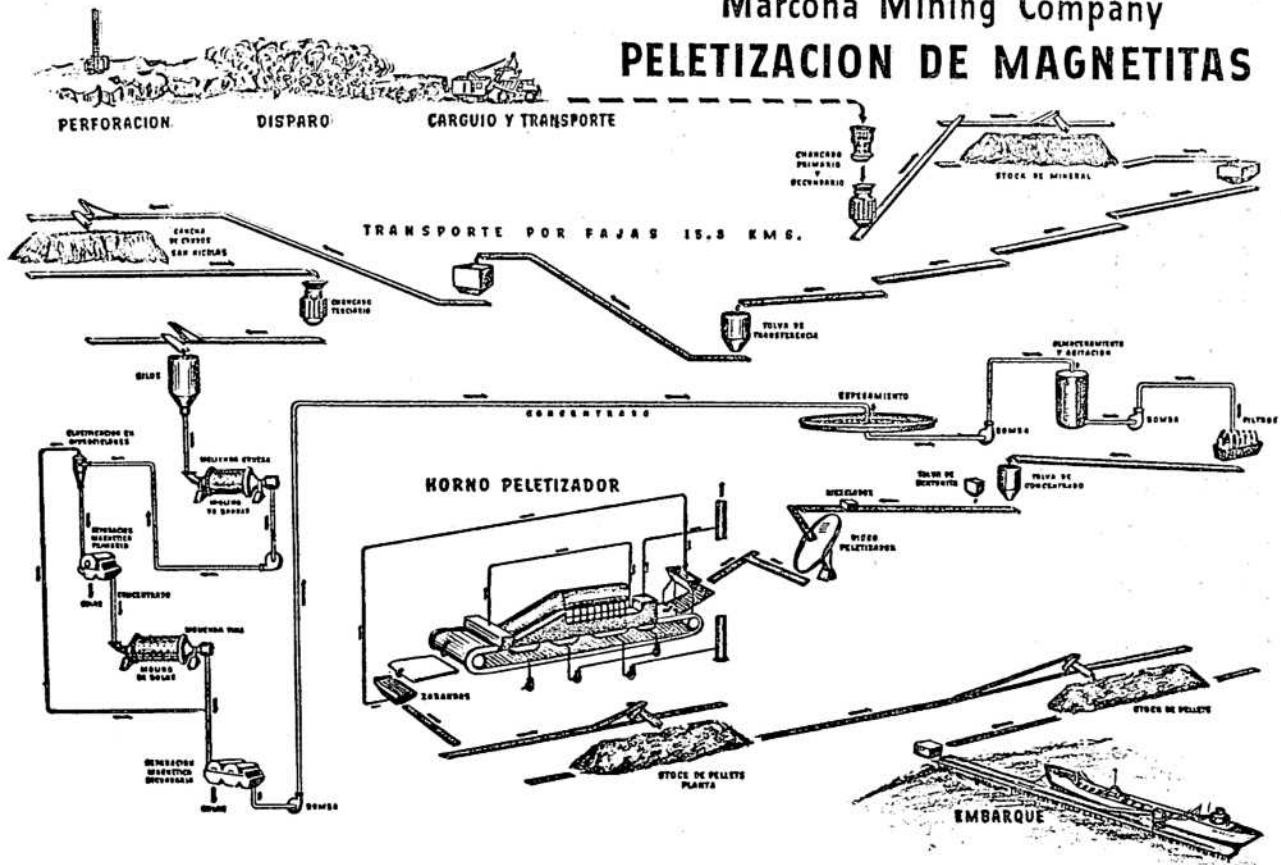
Para obtener estas especificaciones tenemos que controlar en primer lugar la uniformidad del concentrado en su grado de molienda, el contenido de humedad y lamas. Cada dos horas la operación es controlada mediante análisis granulométrico de la descarga de los discos, prueba de caídas, compresión seca y húmeda. La Sección Control de Procesos informa cada hora respecto al porcentaje de humedad y superficie específica del concentrado filtrado. Pero repetimos, es el operador de discos el que detecta inmediatamente las variaciones en la formación de bolas verdes, teniendo que actuar de inmediato según sea necesario. En pequeñas variaciones actúa cambiando la velocidad del disco, ajustándolo entre 5 a 7 rpm. Aumenta la velocidad cuando nota que comienzan a disminuir de tamaño y la disminuye cuando nota que los pelets se agrandan.

Si el concentrado filtrado está muy húmedo, se aumenta bentonita y se reduce la velocidad. Si el concentrado está seco se aumenta la velocidad y la bentonita, teniendo en algunos casos que agregar agua.

En la práctica, la información del control de operación sólo certifica la acción tomada por el operador, ayudando a refinar sus ajustes y proporcionándonos un record para las correcciones en las distintas fases de la concentración y filtración.

El disco peletizador en sí, es una máquina muy simple, sin embargo, necesita operadores hábiles y bien entrenados; no tiene muchos controles que accionar, pero sí toma acción inmediata guiándose de la observación visual de la operación.

Marcona Mining Company PELETIZACION DE MAGNETITAS



V. Control de operación del horno.

El proceso de endurecimiento de los pelets en el horno es nada menos que una oxidación de la magnetita a hematita, en el que intervienen: el tiempo de proceso, cantidad de calor, temperatura y flujo de gases. De estos factores, la temperatura y la cantidad de calor requerido son fáciles de controlar; pero el tiempo de endurecimiento y el flujo de gases dependen exclusivamente de la permeabilidad de cama y tienen acción directa en los resultados de producción y calidad.

La permeabilidad de la cama es el factor más importante en el proceso de endurecimiento de pelets y depende a su vez de los siguientes factores:

A) CALIDAD DE LAS BOLAS VERDES.

Estas deben ser de un tamaño uniforme, deben resistir las caídas sin romperse, y no ser muy plásticas para que no se deformen a causa de la succión.

B) DISTRIBUCION DE BOLAS.

La cama de bolas verdes debe ser perfectamente nivelada, tanto longitudinalmente como a lo ancho de la parrilla; de no ser así, los gases se canalizarán usando los puntos de menor resistencia, trayendo como consecuencia una baja calidad. La distribución en nuestros hornos se realiza por medio de una faja oscilante y un alimentador de rodillos, los que hemos mejorado con la adición de deflectores de acero inoxidable para dirigir el flujo de las bolas.

C) PROTECCION DE PARRILLA.

Estamos usando una capa de 100 mm. de pelets quemados para proteger el fondo de las parrillas y el mínimo posible para proteger los costados de las parrillas. Nuestra preocupación es zarandear los pelets para que más del 85% estén entre las mallas 15 a 5 mm. procurando no tener pelets ni muy grandes ni muy chicos que obstruyan el paso de los gases. Para conseguir estas especificaciones, controlamos muy de cerca la operación de las zarandas.

Con el fin de proteger los costados de las parrillas, los chutes de descarga están sujetos a inspecciones constantes, corrigiendo posibles atoros y controlando que mantengan siempre su forma y altura de descarga.

D) BARROTES.

El barrote es el elemento más importante de la parrilla del horno en base a las severas condiciones de operación a que está sometido y por los ciclos de calentamiento y enfriamiento bruscos que resiste durante el proceso. En el barrote tenemos las siguientes consideraciones:

1. Tipo de aleación.— Comenzamos a operar con barrotes de 6% de cromo, y antes de un año hubo que cambiar las aleaciones a un mayor contenido de cromo y níquel. En la actualidad la composición de un barrote es completamente auténtico y tiene 26% de cromo, 2.0% níquel, 0.2% carbono, 2.0% manganeso, máximo completando su balance con hierro.
2. Forma.— Un barrote que presta buen servicio en determinada planta, no necesariamente es bueno para otra, y por lo tanto es importante operar con una forma que permita una excelente aereación, es decir, que

Halu pka

CAUTION

RESOSE

PULPA

PULPA

CONCENTR.
GRAVES

COLAS

PULPAS

**CONCENTRADO
FINO**

PULPA (U.)

ADICION DE ARENA

95

BENTONITA

NORMAS DE PELETIZACION

ESQUEMA DE PELETIZACION

CONTROL DE CALIDAD EN LA PRODUCCION DE PELLETS

PRODUCTO	PRUEBAS FISICAS	FRECUENCIA	ANALISIS QUIMICO	FRECUENCIA
Alimentación Molinos de Barras	Estructura: 3/4" Humedad	24 Hrs. 24 Hrs.	Fe, S, Cu, FeO	24 Hrs.
Concentrado Magnético	Superficie Específica	2 Hrs.	Fe, S, Cu	24 Hrs.
Alimentación Espesador	Superficie Específica	1 Hr.	- - - - -	- - -
Rebose del Espesador	% Sólidos	24 Hrs.	Fe, SiO ₂	24 Hrs.
Alimentación Agitadores	Superficie Específica	2 Hrs.	Insoluble, S	2 Hrs.
Arenas Silíceas	Estructura: 100M, 150M, 200M, 325M Superficie Específica	24 Hrs. 24 Hrs.	SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , CaO, MgO Insoluble, P.P.I	Semanal
Concentrado Filtros	Estructura: 100M, 150M, 200M, 325M	24 Hrs.	Fe, S, Cu, FeO, G.O.I	24 Hrs.
	Humedad	1 Hr.	SiO ₂ , Insoluble	
	Superficie Específica Productividad Filtros	2 Hrs. 3 Días	Insoluble, S	2 Hrs.
Bolas Verdes	Estructura: 3/4", 5/8", 1/2", 3/8", 1/4", 28M Compresión humedad-seca No. Caídas-humedad	2 Hrs.	- - - - -	- - - -
Pellet Quemados L#1 - L#2 Prod.Total	Estructura: 3/4", 5/8", 1/2", 3/8", 1/4", 28M	2 Hrs.	Insolubles	2 Hrs.
	Tumble, Compresión	2 Hrs.	Fe, S, Cu, FeO, SiO ₂	24 Hrs.
	Núcleos Magnéticos	24 Hrs.	Insoluble	
Protección de Parrilla	Estructura: 3/4", 5/8", 1/2", 3/8", 1/4", 28M Tumble	2 Días	- - - - -	- - - -
Bentonita	Estructura: 100M, 150M, 200M, 325M Coloides, viscosidad Superficie Específica Grav. Específica	24 Hrs. 1 Semana	SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , CaO, MgO P.P.I. Na ₂ O, K ₂ O	1 Semana

no se tapen con pellets chicos o rotos. El encontrar el perfil adecuado es un programa de muchos años de pruebas y experiencias.

3. Limpieza de los barrotes.— Mantener limpio el espacio entre barrotes es nuestra preocupación diaria y esto se está consiguiendo mediante una adecuada calidad de protección de parrilla; utilizando limpiadores automáticos que constantemente golpean los barrotes; y utilizando una vez por día personal provisto de barretas y martillos neumáticos para que aflojen barrotes.

Nuestra conclusión es que a pesar de que los dos primeros puntos trabajan satisfactoriamente, no podemos prescindir del personal que limpia las parrillas.

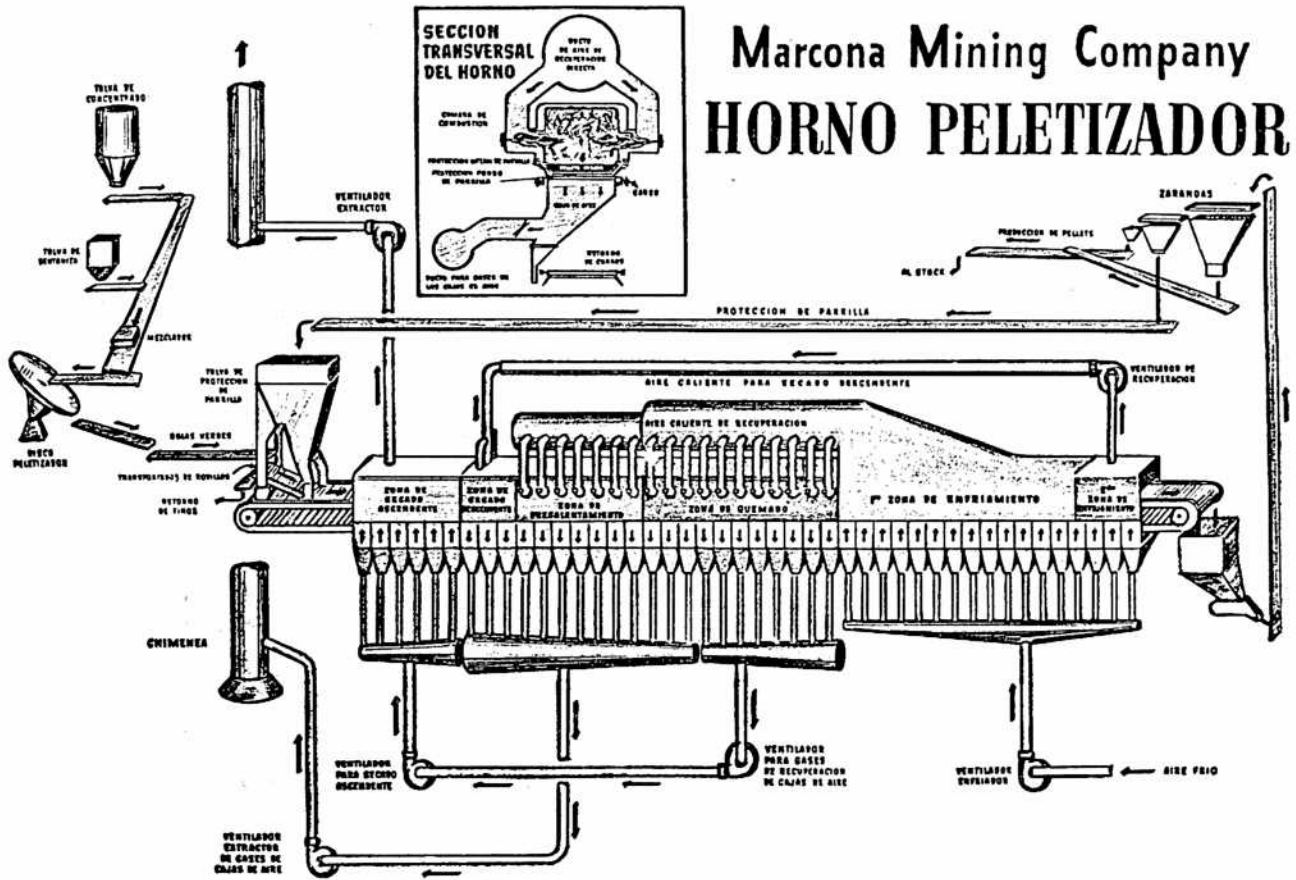
4. Parrillas.— Al igual que los barrotes, hay que observar:

—Tipo de aleación: la operación se comenzó originalmente con parrilla de acero fundido, usándose actualmente acero fundido ASTM-217 grado 5, habiéndose obtenido resultados satisfactorios.

—Costados de la parrilla: en la primera planta estaban constituidos por tres piezas de acero fundido. En la actualidad estamos usando 8 piezas para compensar mejor la expansión y la parte superior de la aleación ACI-GR-HH completamente auténtica y las inferiores, de acero fundido ASTM-A-27 grado 70-36. Con estas modificaciones estamos obteniendo resultados satisfactorios.

Marcona Mining Company

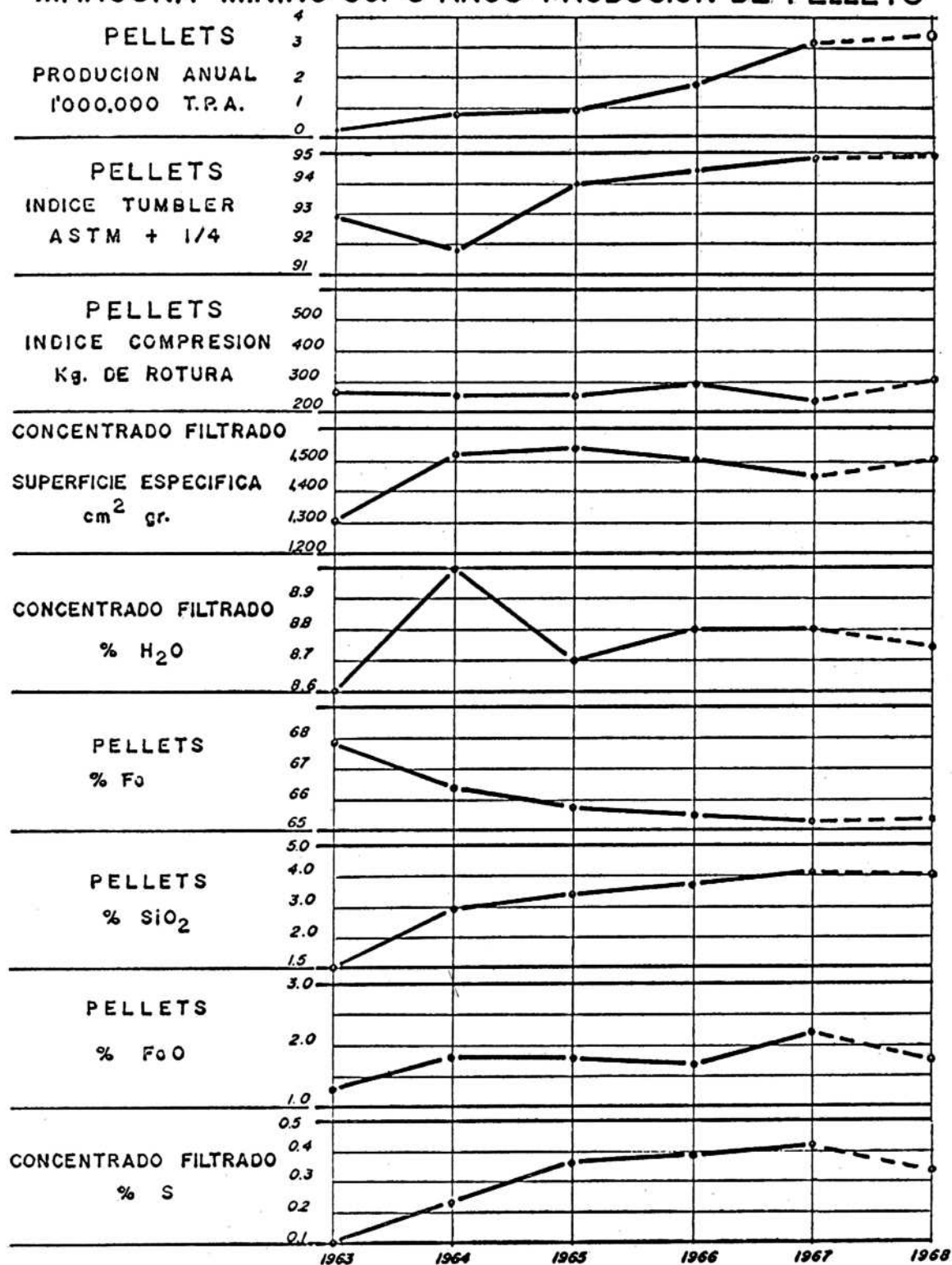
HORNO PELETIZADOR



DISTINTAS FASES DE LA PELETIZACION

MINERAL ALIMENTADO A MOLINOS		CONCENTRADO	
GRANULOMETRIA	ANALISIS QUIMICO	GRANULOMETRIA	ANALISIS QUIMICO
<u>m m</u> <u>% Wt.</u> +19.0 ——— 15 -19.0 + 9.5 ——— 29 - 9.5 + 2.4 ——— 19 - 2.4 + 0.15 ——— 22 - 0.15 + 0.04 ——— 9 - 0.04 ——— 6	Fe ——— 55.0 % S ——— 2.3 % FeO ——— 19.0 % SiO₂ ——— 10.0 %	<u>m m</u> <u>% Wt.</u> +0.15 ——— 3.0 -0.15 +0.10 ——— 4.0 -0.10 +0.07 ——— 11.0 -0.07 +0.04 ——— 15.0 -0.04 ——— 67.0	Fe ——— 68.0 % S ——— .54 % FeO ——— 24.0 % SiO₂ ——— 2.0 % Humedad: 8.7 ± 0.1 % Sup.Espec: 1500 ± 50 cm²/gr.
BOLAS VERDES		BOLAS QUEMADAS	
GRANULOMETRIA	ANALISIS QUIMICO	GRANULOMETRIA	ANALISIS QUIMICO
<u>m m</u> <u>% Wt.</u> +16.0 ——— 3.3 -16.0 +14.5 ——— 8.4 -14.5 +12.7 ——— 17.0 -12.7 +11.2 ——— 42.7 -11.2 + 9.5 ——— 19.1 - 9.5 + 8.0 ——— 8.1 - 8.0 + 6.4 ——— 0.7 - 6.4 ——— 0.7	Fe ——— 66.5 % S ——— 0.5 % FeO ——— 24.5 % SiO₂ ——— 3.8 % Humedad: 8.7 % Compres. 700/800 gr. Humedad Compres. 2500/3000 gr. Seca No.Caidas 5 a 9 450 mm	<u>m m</u> <u>% Wt.</u> +19.0 ——— 0.9 -19.0 +16.0 ——— 2.7 -16.0 +14.5 ——— 9.5 -14.5 +12.7 ——— 17.3 -12.7 +11.2 ——— 43.5 -11.2 + 9.5 ——— 16.2 - 9.5 + 8.0 ——— 9.0 - 8.0 + 6.4 ——— 0.7 - 6.4 ——— 0.2	Fe ——— 65.5 % S ——— 0.02 % FeO ——— 2.5 % SiO₂ ——— 4.0 % Indice Tumble (+1/4") 94.7 % Compres. 230 Kls.

MARCONA MINING Co. 5 AÑOS PRODUCCION DE PELLETS



—Programa de mantenimiento: La inspección de parrillas, control de panceo, renovación, ajuste de barrotes y mantenimiento de los costados y ruedas, es un programa constante y continuo, llegando a un promedio actual de reemplazo diario de dos parrillas por horno.

—Balance de gases: Mantener el balance de gases es otra de las fases de la operación en la que hay que cuidar que los impulsores de los ventiladores se mantengan en buen estado y que el desgaste no los afecte rápidamente. Nuestro sistema es de la siguiente forma:

Válvula de doble compuerta — En todas las cajas de aire tenemos válvulas de doble compuerta, actuadas por dos cilindros de aire, operadas por cuatro mangueras independientes. La vida de los ventiladores depende de las válvulas de doble compuerta, por ello las mantenemos bajo un estricto control de operación y mantenimiento.

Colectores de polvo — Los multiciclones instalados en las primeras cajas de aire de secado ascendente son inspeccionados y limpiados periódicamente.

Impulsores — Los impulsores de ventiladores de proceso los tenemos con planchas de desgaste y reforzados con soldadura anti-abrasiva en los puntos de mayor desgaste. Estas las reponemos periódicamente evitando así el cambio del impulsor y economizando buen tiempo y dinero.

Puntualizamos que lo más importante en la vida del ventilador es el estado de las válvulas de doble compuerta, funcionamiento de colectores y chequeo diario de vibración.

VI. Cambios en el proceso.

Nuestro primer horno diseñado por Lurgi fue de secado descendente, siendo modificado posteriormente al tipo de secado ascendente para mejorar la calidad, aumentar la producción, controlar la corrosión de parrillas y barrotes y disminuir el consumo de petróleo.

El cambio consistió en la adición de un ventilador para secado ascendente y de dos nuevas cajas de aire. Este cambio de proceso estuvo acompañado con una modificación en el horno al que se le cambió de quemadores en el techo a quemadores en los costados, se pasó del sistema de atomización de alta presión a baja presión y de horno de ladrillo a horno de plástico. Todos estos cambios dieron resultados favorables en la operación del horno, obteniéndose mejoras en la calidad y producción.

No obstante haber hecho las modificaciones arriba mencionadas, todavía los procesos y operaciones son distintos, siendo las diferencias más importantes las siguientes:

A) UTILIZACION DE LOS GASES DEL PROCESO.

En el horno Dravo hay dos zonas de enfriamiento. En la primera zona los gases calientes a más de 800°C pasan directamente a la cámara del horno. En la segunda zona los gases están más fríos —300°C— y son enviados al secado descendente utilizando un ventilador.

En el horno Lurgi sólo hay una cámara de enfriamiento y todos los gases calientes son enviados a la cámara del horno por un ventilador que limita la temperatura de los gases a 600°C.

B) RECUPERACION DE CALOR.

En el horno Dravo para el secado ascendente se utilizan los gases provenientes de la zona de quemado. En el horno Lurgi, estos gases se desperdician y se emplean gases calientes de la cámara de enfriamiento para el secado ascendente.

C) SELLO DEL HORNO.

Los costados del horno Dravo son sellados y en el horno Lurgi son abiertos, lo que dificulta el control de presión en la cámara del horno.

D) CONSUMO DE PETROLEO.

Todas las diferencias arriba mencionadas inciden en el consumo de petróleo. Mientras que el horno Lurgi requiere 237.500 K cal/LT pelets, el horno Dravo utiliza 161.000 K cal/LT pelets.

Estas diferencias en el proceso y equipos son perfectamente explicables porque entre ambos hornos existen cuatro años de diferencia en el diseño, y la peletización es un proceso que está en pleno perfeccionamiento, a tal punto que hay plantas con provisión de ser automatizadas y controladas por instrumentos.

VII. Control de procesos.

En la producción de pelets en Marcona, el control de la producción es algo de capital importancia y es llevado a cabo por un grupo de Ingenieros que no dependen del grupo de operación.

Las principales fases de este control son las siguientes:

A) CONTROL DE CALIDAD.

Este se efectúa en las distintas fases de la fabricación, de acuerdo al cuadro que adjuntamos, donde se detallan los controles químicos y físicos que realizamos.

B) CONTROL DE PROCESOS.

Se realiza llevando estadísticas de los perfiles de temperatura, presiones del horno y otras variantes del proceso.

C) CONTROL DE TEMPERATURA.

Cada 8 horas se toma la temperatura en los túneles de quemado y se comprueba el gasto de petróleo.

D) CONTROL DE BALANZAS.

Se logra por medio de la calibración constante de las balanzas.

E) CONTROL DE INSTRUMENTACION.

Se efectúa llevando el record correspondiente y comprobando que toda la instrumentación trabaje bien.

La aglomeración de partículas de óxido de hierro en los pélets de minerales ácidos

Por M. C. Chang, Dravo Corporation

Introducción

En los últimos años hemos experimentado con la pelletización de minerales y concentrados de óxidos de hierro, procedentes de virtualmente todas las regiones del mundo occidental. La composición mineralógica de estos minerales o concentrados varía entre el óxido férrico terroso, hidratado, y la magnetita cristalina, densa. Se observó que para producir pélets equivalentes de buena calidad (excluyendo los análisis químicos), el sistema de piroconsolidación debía adaptarse a cada mineral o concentrado. La desviación en el sistema de piroconsolidación depende del grado de disimilitud que presente la composición mineral. Los cambios que se necesitan normalmente afectan no sólo a las condiciones de secado, precalentamiento y cocción final, sino también a la exigencia de añadir pequeñas cantidades de cal o de caliza. El secado se refiere a la evaporación de la humedad superficial, en tanto que el precalentamiento regula la oxidación de la magnetita (y también del sulfuro cuando lo hay) y la eliminación del agua de hidratación en el caso de los óxidos de hierro hidratados. Pero la aglomeración de las partículas de óxido depende principalmente de las condiciones de la cocción final y de la presencia de CaO en los pélets. El objeto de este trabajo es analizar nuestras observaciones y dar explicaciones lógicas del comportamiento característico de los distintos tipos de minerales o concentrados, especialmente en lo que se refiere al mecanismo de la aglomeración.

Observación general.

La composición mineralógica de un mineral de hierro depende de la génesis del yacimiento mineral. De acuerdo con nuestra experiencia, los minerales de óxido de hierro se pueden clasificar en términos generales, como sigue:

1. *Sedimentarios — terrosos.* Los componentes mineralógicos importantes de este tipo de minerales de hierro son las hematitas con diversos grados de hidratación. El mineral de hierro promedio muestra cristales de unos dos micrones de diámetro. En la figura 1 se ve una microfotografía de este material. La figura 2 muestra un mineral similar con cristales de grano grueso, con un tamaño promedio de unos 20 micrones. Los puntitos negros que se ven en la figura 2 son minerales arcillosos de alto punto de fusión, o bien microporos. Son los poros que se originaron debido a la lixiviación natural ocurrida durante la formación geológica del yacimiento. En términos termodinámicos, se concluye que los minerales de este

tipo deben de almacenar cantidades considerables de energía libre inherente, como consecuencia de la gran superficie interna o superficie específica de los cristales.

2. *Sedimentarios — itabíricos.* El mineral de hierro de este tipo consiste principalmente en cristales de hematita cuyo diámetro alcanza a algunos cientos de micrones. La figura 3 muestra fracturas de los cristales densos de un concentrado de mineral itabírico. En los bordes de los granos se observan partículas minerales de alto punto de fusión. En estas partículas de óxido de hierro se almacena solamente una cantidad moderada de energía libre inherente, porque la superficie interna es más pequeña.

3. *Especulares.* La figura 4 es una microfotografía de un concentrado de hematita especular. La estructura estratificada es característica del óxido de hierro de este tipo. Algunos cristales de hematita especular muestran una estructura compuesta debida, posiblemente, al trabajo mecánico ocurrido durante el metamorfismo. El tamaño del cristal simple marcado es de alrededor de 2.000 micrones y no se observan impurezas minerales visibles. Este modo de la formación geológica del yacimiento mineral proporciona a las partículas de mineral un bajo nivel de energía libre inherente.

4. *Magnetita.* La figura 5 muestra la sección pulida de un concentrado de magnetita. El gran tamaño de los cristales, el origen magmático o metamórfico del yacimiento mineral nuevamente da a la magnetita un bajo nivel de energía libre inherente.

Al pelletizar estos tipos de minerales o concentrados se hicieron las siguientes observaciones:

- A. Con los minerales del Tipo 1 fue necesario cocer los pélets a temperaturas de 2.400°F por lo menos, pero inferiores al punto de fusión, y mantener este nivel durante cierto período para obtener pélets de buena calidad. La adición de CaO o caliza en los pélets verdes redujo notablemente el tiempo de permanencia a alta temperatura.
- B. En los minerales del Tipo 2 el tiempo de permanencia a alta temperatura durante la cocción fue marcadamente más largo que en los minerales del Tipo 1. En la mayoría de los casos, en realidad, resultó demasiado largo para ser práctico. Aquí también se puede reducir considerablemente el tiempo de permanencia a temperatura de cocción, mediante la adición de pequeñas cantidades de CaO o de caliza en los pélets crudos.

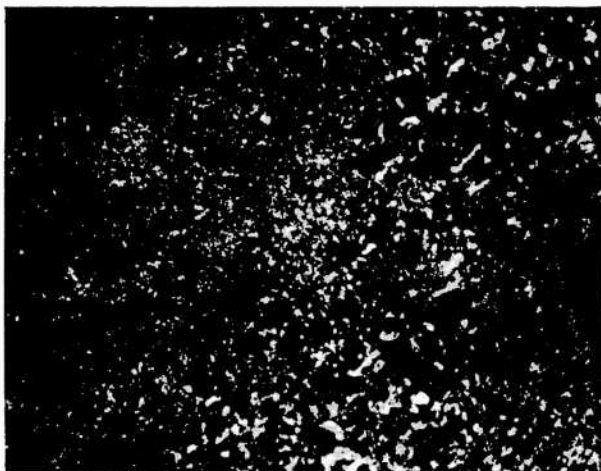


Figura 1 — Mineral de hematita terrosa de grano fino (250X, luz polarizada).

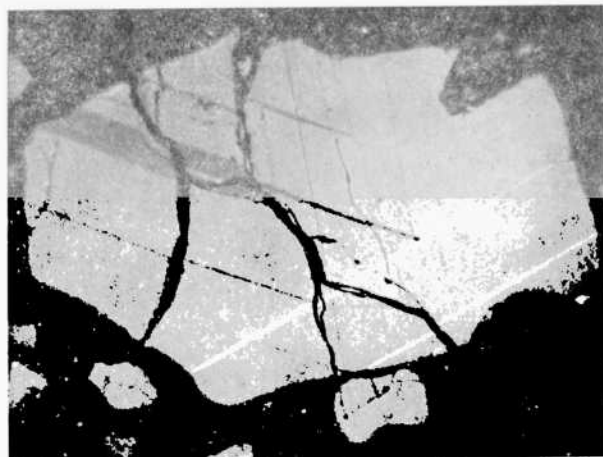


Figura 4 — Concentrado de hematita especular (250X, luz polarizada).

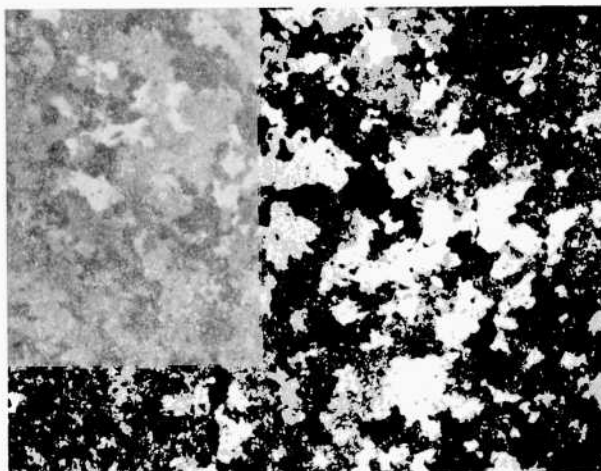


Figura 2 — Mineral de hematita terrosa de grano grueso (250X, luz polarizada).

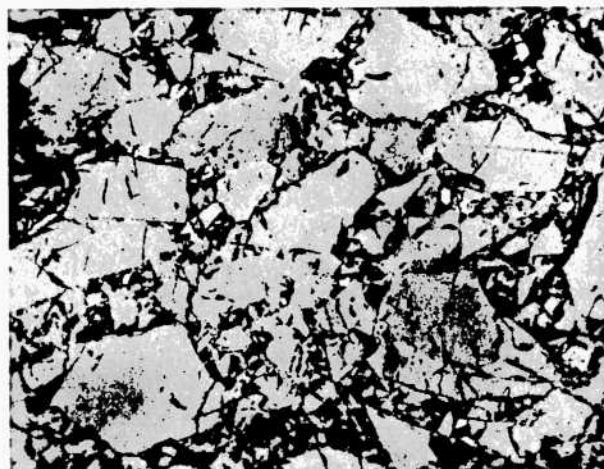


Figura 5 — Concentrado de hematita (100X, luz blanca).

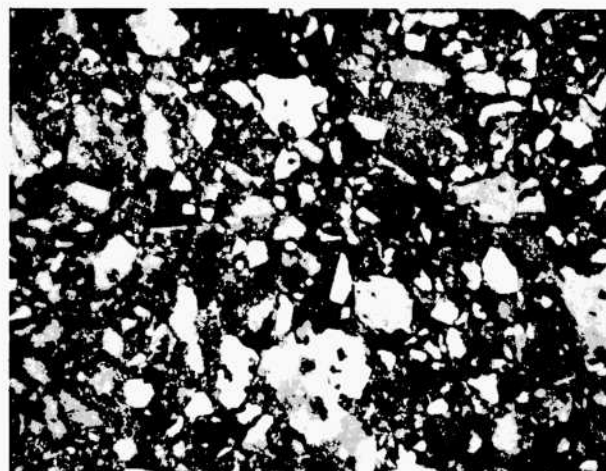


Figura 3 — Concentrado de mineral de hematita itabirica (250X, luz polarizada).

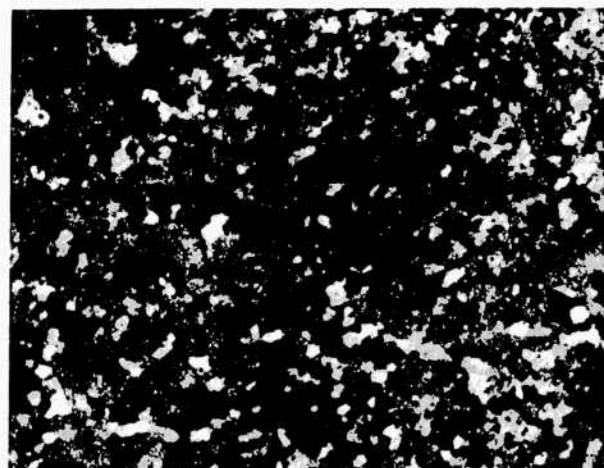


Figura 6A — Pelet producido con mineral terroso de hematita de grano fino (500X, luz polarizada).

- C. Con los minerales del Tipo 3, si el material estaba adecuadamente molido, bastó llevar los pelets a una temperatura de cocción de 2450-2500°F para producir pelets de buena clase. La adición de CaO o de caliza no mejoró la calidad en forma importante.
- D. Si la oxidación de la magnetita durante el precalentamiento no pasaba de 70%, la cocción final exigía solamente calentar los pelets a una temperatura de 2300-2400°F. Si la oxidación se efectuaba casi totalmente durante el precalentamiento, se necesitaba agregar una pequeña cantidad de cal o de caliza durante la cocción final.
- E. La superficie específica de Blaine, que es una función de la dimensión de la molienda, que se necesitó para producir pelets de buena calidad con los minerales del Tipo 1 y 2 fue alrededor de dos veces la que se vio en los minerales del Tipo 3 y 4.

Se examinaron al microscopio secciones pulidas de pelets obtenidos con estos diversos minerales o concentrados. Las ilustraciones que siguen son típicas de lo que observamos.

La figura 6-A muestra la microestructura de un pelet producido con mineral del Tipo 1 de grano fino. El crecimiento de los granos, debido a la aglomeración por coalescencia que ocurrió durante la piroconsolidación, se observa en el aumento del tamaño del grano de las partículas de óxido de hierro que contiene el producto terminado. La figura 6-B muestra una sección de un pelet hecho con el mismo mineral en las mismas condiciones de cocción, con adición de 2% de caliza. En este caso se observa un mayor aumento en el tamaño del grano.

En la figura 7-A se ve la microestructura de un pelet producido con mineral del Tipo 2. Este pelet fue cocido a una temperatura de 2450°F y enfriado. La calidad de este pelet era pobre, como se ve por la falta de aglomeración entre las partículas individuales de óxido de hierro. La microestructura de un pelet producido con el mismo material y tratado de manera semejante, con adición de 2% de caliza, se encuentra en la figura 7-B. Se observa una buena aglomeración de las partículas de óxido de hierro, con lo que se obtiene un producto de buena calidad.

La figura 8 muestra la microestructura de un pelet de buena clase hecho con mineral de hierro o concentrado de hematita especular, del Tipo 3. La aglomeración con crecimiento del grano que se observa en las partículas de óxido de hierro se debió a la fusión superficial que ocurrió en los puntos de contacto que presentan los ángulos y bordes agudos. Dichos ángulos y bordes, que son puntos de alta relación entre superficie y volumen, se generaron durante la molienda del concentrado de hematita especular.

La figura 9 muestra la microestructura de un pelet obtenido con una mezcla de alta energía: mineral del Tipo 1, de grano fino, con concentrado de hematita especular, de baja energía, del Tipo 3, con adición de 1% de caliza, cocción a 2450°F durante un período prolongado. En el medio de la figura 9 se ve un cristal de hematita especular, de baja energía libre, que se identifica por la estructura compuesta. Este cristal perdió su estructura estratificada normal y, en realidad, creció considerablemente a expensas de los cristales del Tipo 1, de alta energía. Este fenómeno concuerda con las consideraciones termodinámicas.

La figura 10-A es la microestructura de un pelet de magnetita cocido, en que se reguló la oxidación de la magnetita en el curso del precalentamiento, de manera que no excediese del 70%. En el producto final se puede observar un crecimiento relativamente grande del grano. En la figura 10-B la magnetita se oxidó casi totalmente durante el precalentamiento, en presencia de 2% de caliza, y se coció en condiciones similares. En este caso, pese a la buena aglomeración de las partículas de óxido de hierro, el crecimiento de los granos no se produjo en la medida que se ve en la figura 10-A.

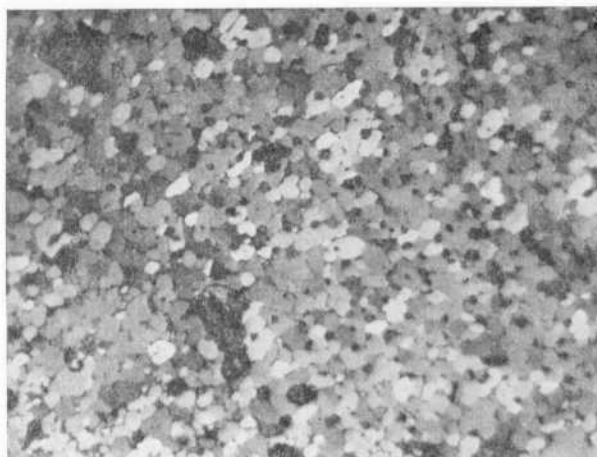


Figura 6B — Pelet producido con mineral terroso de hematita de grano fino, con 2% de caliza (250X, luz polarizada).

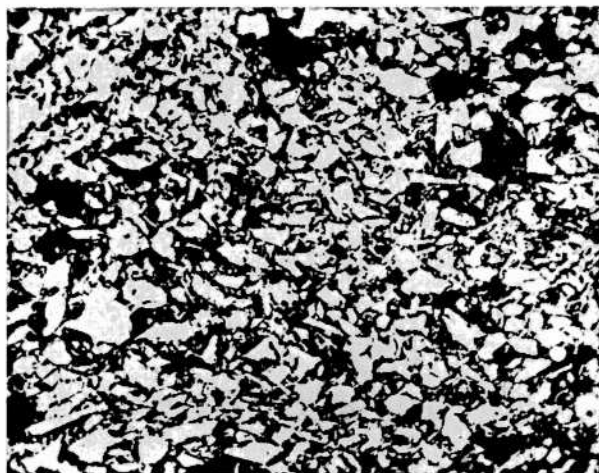


Figura 7A — Pelet producido con concentrado de hematita itabirica (250X, luz blanca).

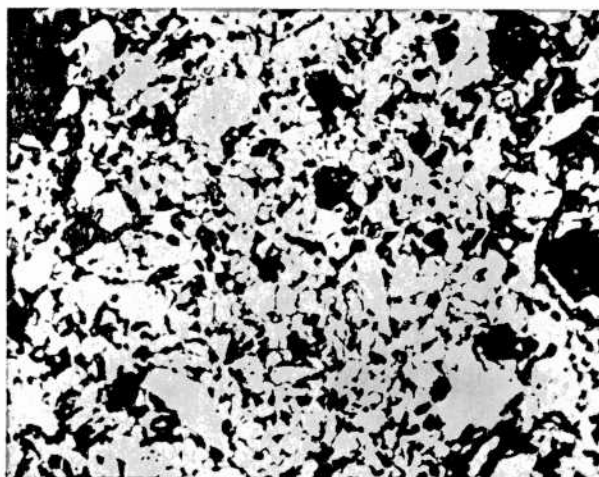


Figura 7B — Pelet producido con concentrado de hematita itabirica con 2% de caliza (250X, luz blanca).

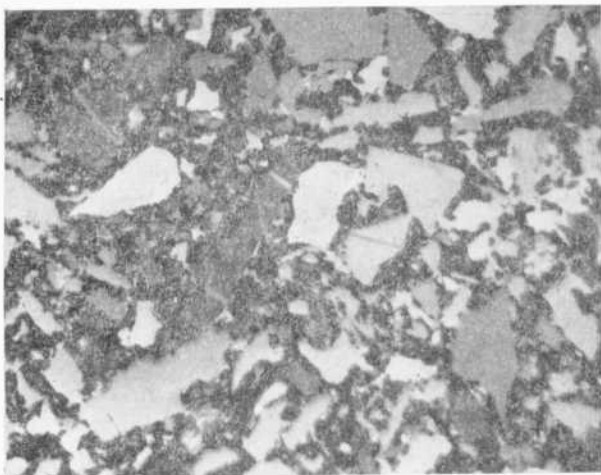


Figura 8 — Pelet producido con concentrado de hematita especular (250X, luz polarizada).

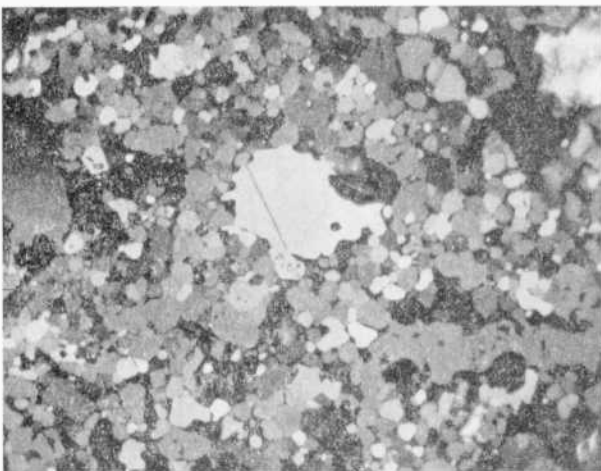


Figura 9 — Pelet producido con una mezcla de mineral terroso de hematita de grano fino y concentrado de hematita especular con 1% de caliza (250X, luz polarizada).

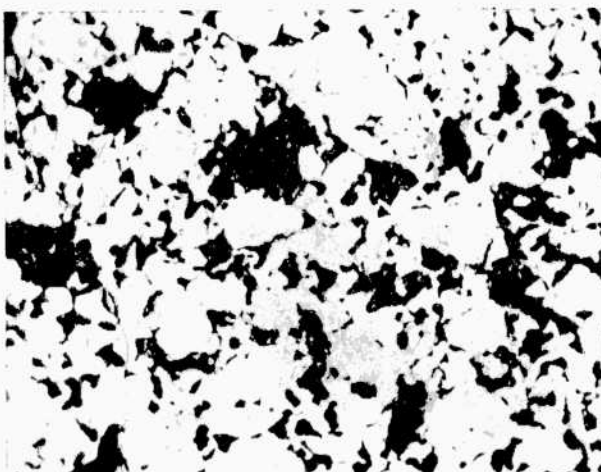


Figura 10A — Pelet producido con concentrado de hematita, precalentamiento breve (250X, luz blanca).

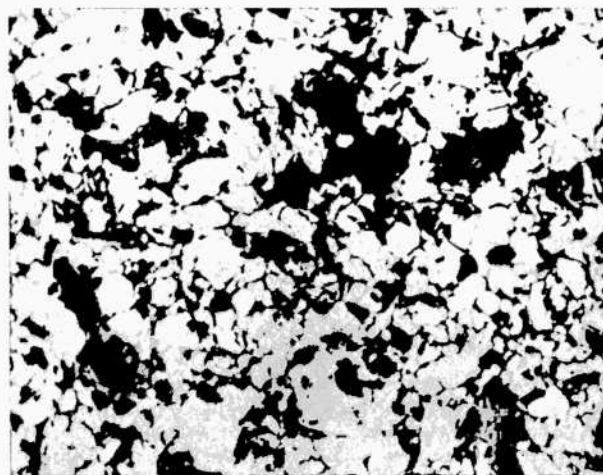


Figura 10B — Pelet producido con concentrado de magnetita con 2% de caliza precalentamiento prolongado (250X, luz blanca).

Consideraciones teóricas.

Durante la formación geológica de los minerales de hierro las propiedades físicas y químicas de éstos se encuentran sometidas a múltiples cambios. Se sabe que los sólidos cristalinos tienen capacidad para almacenar energía debido a la existencia de defectos geométricos uni, bi o tridimensionales que dan a estos materiales una mayor energía libre, en comparación con el estado termodinámicamente estable. La diferencia entre estos dos niveles de energía proporciona una fuerza que impulsa los cambios estructurales que ocurren con el recocido. En la redistribución de los defectos y la liberación de la energía almacenada se reconocen generalmente tres períodos de cambio que se llaman recuperación, recrystalización y crecimiento del grano.

En este trabajo se analizará el aumento de tamaño del grano, que se relaciona estrechamente con la recrystalización secundaria, puesto que en el caso de los pelets nos preocupa principalmente el movimiento de las interfaces del borde de los granos, posiblemente en presencia de una fase líquida. Este tipo especial de movimiento de los bordes del grano lo determina un proceso de solución y precipitación que cruza la interfaz de los bordes del grano. En cerámica se ha observado frecuentemente este fenómeno.^{1,2,3}

Este movimiento líquido de la interfaz, que llamaremos aquí "crecimiento del grano con interfaz líquida", ocurre en los materiales cristalinos cuando la energía libre del sistema se puede reducir mediante el desplazamiento de una sección de la superficie límite A y se puede escribir:^{4,5}

$$dG = - p \cdot A \cdot dx$$

El aumento de energía dG , que se libera cuando la interfaz del borde del grano pasa por una unidad de volumen (ergs/cm^3), se puede interpretar también como una fuerza de impulso p que actúa sobre una unidad de superficie del borde (presión, dinas/cm²).

Varias fuerzas propulsoras contribuyen a formar p e influyen en la velocidad de crecimiento del grano en las partículas de óxido de hierro que contienen los pelets:

- A. Una parte del aumento de energía libre se originó en el volumen rebasado por la interfaz en movimiento, y se debe a defectos cristalográficos (P_v). La magnitud de P_v depende de las condiciones de la forma-

ción geológica del yacimiento de mineral. Los cristales que forman el mineral pueden haber quedado deformados bajo la influencia de tensiones mecánicas, especialmente a temperaturas elevadas.

La deformación elástica es reversible cuando se eliminan las fuerzas externas que actúan sobre los cristales. Las grandes tensiones que se desarrollan dentro del cristal son capaces de sobrepasar el límite de elasticidad y causar una deformación plástica permanente. Esta deformación tiene como consecuencia un aumento de la energía libre dentro del cristal. Otros defectos que se generan durante la deformación afectan también en forma similar el nivel de energía libre.

Como los materiales cerámicos son muy frágiles, la cantidad de energía almacenada que se debe a defectos reticulares es pequeña y, por tanto, debiera ejercer sólo una pequeña influencia sobre la aglomeración coalescente de los pellets de óxido de hierro.

- B. Otra fuente de aumento de la energía libre se relaciona con la fuerza de impulso P_s , debida a un cambio en la energía superficial. El hecho de que los iones de la superficie de la partícula no estén enteramente rodeados por otros iones es causa de la energía superficial. El aumento en la energía libre que se debe a la energía superficial depende en gran medida de la superficie específica ($\text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$) del material y se le puede afectar por medios mecánicos, como la trituration.

La fuerza propulsora P_s está gobernada por la diferencia entre la energía superficial de dos granos continuos $\Delta\gamma$, y el diámetro promedio de las partículas d:

$$P_s = \frac{2 \Delta\gamma}{d}$$

La dependencia de la temperatura en la energía superficial libre de la hematita y magnetita fue calculada por R. H. Bruce.⁶ Para la hematita la relación se expresa como sigue:

$$\gamma_{\text{Hematita}} = 807 - 0,161 \cdot T$$

$$\gamma_{\text{Hematita Promedio}} = 870 - 0,174 \cdot T$$

A una temperatura (T) de cocción de los pellets de 1590°K, la diferencia máxima en la energía superficial de dos granos continuos la da:

$$\Delta\gamma_{\text{Hematita}} = \gamma_{\text{Hematita Máx.}} - \gamma_{\text{Hematita Mín.}}$$

$$= 2 \left(\frac{\gamma_{\text{Hematita Promedio}}}{\gamma_{\text{Hematita Máx.}}} - \frac{\gamma_{\text{Hematita Mín.}}}{\gamma_{\text{Hematita Máx.}}} \right) = 2 (593 - 551) = 84 \text{ erg. cm}^{-2}$$

Para una diferencia máxima de energía superficial de 84 erg. cm^{-2} , la fuerza propulsora P_s , con un diámetro promedio de partícula de 10^{-3} cm, se calcularía:

$$\frac{2 \times 84}{10^{-3}} \frac{\text{erg. cm}^{-2}}{\text{cm}} = 1,7 \times 10^5 \text{ din. cm}^{-2}$$

Para la magnetita la dependencia de la temperatura de la energía superficial se da en las expresiones siguientes

$$\gamma_{\text{Magnetita}} = 1890 - 0,379 \cdot T$$

$$\gamma_{\text{Magnetita Promedio}} = 2450 - 0,490 \cdot T$$

Con una temperatura de cocción de los pellets de 1590°K, máxima en la energía superficial de dos granos continuos de magnetita se puede calcular como sigue:

$$\Delta\gamma_{\text{magnetita}} = \gamma_{\text{Magnetita Mín.}} - \gamma_{\text{Magnetita Máx.}}$$

$$= 2 \left(\frac{\gamma_{\text{Magnetita Promedio}}}{\gamma_{\text{Magnetita Mín.}}} - \frac{\gamma_{\text{Magnetita Máx.}}}{\gamma_{\text{Magnetita Mín.}}} \right) = 2 (1670 - 1324) = 692 \text{ erg. cm}^{-2}$$

A una diferencia máxima de energía superficial de 692 erg. cm^{-2} , la fuerza propulsora P_s magnetita es igual a:

$$\frac{2 \times 692}{2 \times 10^{-3}} \frac{\text{erg. cm}^{-2}}{\text{cm}} = 7 \times 10^5 \text{ din. cm}^{-2}$$

- C. La fuerza de impulso pG también puede tener su origen en la energía de los bordes del grano. La cantidad de energía de los bordes del grano por unidad de volumen depende de la formación geológica del yacimiento de mineral y no la puede afectar el trabajo mecánico. Por ejemplo, los minerales de hierro sedimentarios de grano fino tienen la mayor cantidad de energía de los bordes del grano, y la hematita especular la menor cantidad de dicha energía.

Se puede estimar la fuerza propulsora pG por:

$$pG = \frac{2 \gamma}{R}$$

en que γ es la energía de los bordes del grano por unidad de superficie y R es el radio efectivo de curvatura dado por:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

R_1 y R_2 son los dos radios de curvatura de un punto considerado de cada lado del borde del grano. Para una hematita terrosa como la que se ve en la figura 1, con $R_1 = R_2 = 10^{-4}$ cm y $\gamma_{\text{hematita}} = 600$ erg. cm^{-2} , pG de la hematita terrosa es igual a:

$$\frac{2 \times 600}{10^{-4}} \frac{\text{erg. cm}^{-2}}{\text{cm}} = 1,2 \times 10^7 \text{ dinas. cm}^{-2}$$

En una magnetita en que $R_1 = R_2 = 10^{-3}$ cm y $\gamma_{\text{magnetita}} = 1500$ erg. cm^{-2} , pG es igual a:

$$\frac{2 \times 1500}{10^{-3}} \frac{\text{erg cm}^{-2}}{\text{cm}} = 3 \times 10^6 \text{ dinas. cm}^{-2},$$

- D. El aumento en la energía libre también puede tener su origen en el volumen rebasado por el borde en movimiento, pero deberse a la interacción química de distintos elementos. Esta fuerza propulsora P_s puede ser positiva (para las reacciones exotérmicas) y depende de la característica química del mineral.

La fuerza de impulso P_c que resulta de la oxidación de la magnetita en hematita se puede estimar como sigue:



La magnetita tiene un peso específico de 5 g. cm^{-3} y un peso molecular de 231,5. Por tanto, P_c es igual a:

$$\frac{660 \text{ cal}}{\text{cm}^3} = \frac{660 \times 4,2 \times 10^7 \text{ erg}}{\text{cm}^3} = 2,77 \times 10^{10} \text{ din. cm}^{-2}$$

E. Además de las fuerzas propulsoras que hemos estudiado y que causan el crecimiento continuo del grano, existe otra que causa solamente un crecimiento discontinuo del grano y a la que puede designarse por pR. Esta fuerza propulsora pR se puede atribuir a puntos locales de alta energía creados por una gran relación de superficie a volumen. Se ha observado este fenómeno en los pelets de óxido de hierro preparados con concentrados que tienen una energía libre muy baja. El mecanismo de aglomeración del óxido férrico se caracteriza por una sinterización superficial en el contacto de los ángulos y bordes agudos. El cálculo de la fuerza de impulso pR es similar a pG. La diferencia principal está en que el radio de curvatura de uno de los cristales se acerca a cero y el del otro cristal se acerca al infinito. Durante la difusión estos dos radios se tornan del mismo orden de magnitud, y la fuerza de impulso pR disminuye rápidamente, lo que origina el crecimiento discontinuo del grano. En una hematita especular cuya energía de los bordes del grano es de 600 erg. cm⁻², con dos radios de curvatura RA y RB de 10⁻⁵ y 1,0 cm respectivamente, la fuerza propulsora pR se puede calcular como sigue:

$$pR = \frac{2 \gamma}{R} = \frac{2 \times 600 \text{ erg. cm}^{-2}}{2 \times 10^{-5} \text{ cm}} = 6 \times 10^7 \text{ dinas. cm}^{-2}$$

Discusión.

En el cuadro 1 se da un resumen de las estimaciones de las diversas fuerzas propulsoras que determinan la aglomeración por crecimiento del grano que ocurre en las partículas de óxido de hierro en los pelets de mineral de hierro. La naturaleza y magnitud de las fuerzas primarias de impulso varían y dependen de la composición mineralógica o del origen de los minerales o concentrados. La fuerza propulsora es mayor en la magnetita (Tipo 4), seguida, en orden decreciente, por la hematita especular (Tipo 3), la hematita terrosa, (Tipo 1), y la hematita itabírica (Tipo 2).

La fuerza propulsora química (Pc) en el caso de la magnetita es mayor que las otras en varios órdenes de magnitud. Esto explica por qué es necesario controlar la mayor parte de la oxidación que tiene lugar a una temperatura relativamente baja; de lo contrario habrá un crecimiento extremadamente grande del grano. Esta capa exterior densa también inhibirá el transporte de oxígeno al interior de los pelets, como lo prueba la presencia de un gran núcleo de magnetita.

La energía de los bordes del grano contribuye la mayor parte de la fuerza propulsora en las hematitas de origen sedimentario. Al contrario de lo que ocurre en los minerales de hierro sedimentarios y magnéticos, la energía de los bordes del grano en la hematita metamórfica es relativamente baja. Sin embargo, los cristales simples de estructura micácea muestran una fuerte tendencia hacia la fractura transcrystalina, lo que al moler el material da lugar a la formación de ángulos y bordes agudos, y determina luego el crecimiento discontinuo del grano o la fusión superficial localizada de los granos de óxido contenidos en los pelets.

Es interesante notar que la relativa facilidad con que salen de la cocción final pelets de buena calidad hechos con minerales o concentrados de óxidos de hierro, sin adición de cal ni caliza, sigue el mismo orden que se estableció para la magnitud de las fuerzas propulsoras del movimiento de los bordes del grano. La velocidad del crecimiento granular es el factor determinante en la coc-

CUADRO 1

RESUMEN DE LAS FUERZAS DE IMPULSO ESTIMADAS, DINAS/CM²

Fuente	Tipo 1 Hematita terrosa	Tipo 2 Hematita itabírica	Tipo 3 Hematita especular	Tipo 4 Magnetita
Energía almacenada debido a:				
Defectos reticulares (Pv)	baja	baja	baja	baja
Energía superficial (Ps)	10 ⁵	10 ⁵	10 ⁵	10 ⁶
Energía de los bordes del grano (PG)	10 ⁷	10 ⁶	10 ⁵	10 ⁶
Energía superficial (local) (PR)	10 ⁵	10 ⁵	10 ⁸	10 ⁶
Energía de reacción química (Pc)	—	—	—	10 ¹⁰

ción de los pelets. Esta velocidad es proporcional a la suma de todas las fuerzas propulsoras y se puede expresar como sigue:

$$R = \sum p \cdot m$$

El factor de movilidad m, que es la relativa libertad de los iones para migrar de un grano a otro, es igual a la expresión siguiente:

$$m = \frac{\alpha b V}{NkT} \exp \left(\frac{-E}{kT} \right), \text{ suponiendo que } p \approx 2 NkT$$

donde:

- α = número de "saltos" que tiene que dar un ion para llegar al cristal que tiene menor energía libre.
- b = la distancia en que se desplaza el borde granular del cristal en crecimiento por precipitación de un átomo sobre la superficie del cristal (alrededor de un diámetro iónico).
- V = frecuencia de Debye.
- N = número de átomos por cm³ en la interfaz del borde del grano.
- k = constante de Boltzmann.
- T = temperatura absoluta.
- E = energía de activación para la migración del borde del grano.

El hecho de que el crecimiento continuo del grano en los pelets se vea acelerado o ayudado por adiciones pequeñas de CaO o caliza indica que el movimiento del borde del grano se desarrolla favorablemente a través de una fase líquida en la interfaces limítrofes. Los iones salen de los granos que tienen mayor energía libre, entran en solución con la fase líquida, y se precipitan sobre el grano adyacente que tiene menor energía libre. En ausencia de fuerzas propulsoras, los números de iones que se disuelven y precipitan son iguales, y, por lo tanto, no se produce ningún movimiento de los bordes del grano.

El factor de movilidad m se ve afectado en gran medida por la solubilidad de los iones en la fase líquida y, por tanto, influye en él en alto grado la composición de la fase líquida que ocurre en la interfaz del borde del grano. La presencia de CaO en esta fase líquida debe tener un efecto beneficioso para alzar el factor de movilidad y explicar la aceleración en la velocidad de crecimiento del grano que se observa en las partículas de óxido de hierro aun cuando las fuerzas propulsoras son relativamente bajas.

Resumen y conclusiones.

En los pelets de mineral de fierro, la aglomeración de las partículas de óxido de fierro por crecimiento continuo o discontinuo del grano depende de la energía almacenada dentro de los minerales originales de óxido de fierro. Lo anterior, en gran medida, está determinado por el modo de formación geológica del yacimiento. En los granos de óxido férrico con alta energía libre inherente predomina la aglomeración por crecimiento continuo del grano. Esto es típico de los minerales de óxido de fierro de origen sedimentario. En los granos de óxido férrico de origen metamórfico, tales como la hematita especular, el crecimiento del grano es de tipo discontinuo. Se caracteriza también por la fusión superficial en zonas de contacto donde se crean grandes diferencias en energía libre, debido a los ángulos y bordes de alta relación entre superficie y volumen, que surgen de la molienda del material.

Se puede describir el mecanismo del crecimiento del grano en los pelets piroconsolidados como la disolución

y precipitación de los iones a través de un medio líquido de transporte situado en la interfaz del límite del grano. Las velocidades relativas de disolución y precipitación dependen de las fuerzas propulsoras que actúan en el borde del grano. Se puede afectar la velocidad de crecimiento del grano al ajustar la composición química de la fase líquida, por ejemplo con la adición de pequeñas cantidades de CaO o caliza a los pelets crudos.

BIBLIOGRAFIA

1. C. Kooy, Science of Ceramics (London) Vol. 1, 21 — 34 (1961).
2. H. G. Van Bueren, "Imperfections in Crystals" (1961), 567 North-Holland Publishing Company-Amsterdam.
3. W. D. Kingery, E. Niki, M. D. Narasimhan, J. Amer. Ceram. Soc., 44 (1961) 29.
4. K. Lücke, H. P. Stüwe, "Recovery and Recrystallization of Metals", AIME Symposium New York 1962.
5. K. Lücke, Z. Metallkunde 52 (1961) 1 — 12.
6. R. H. Bruce, Science of Ceramics v. 2, 1962. p. 359-367.

Una técnica nueva para la producción de pélets de mineral de fierro

Por: Ing. R. W. Hornbaker e Ing. R. E. Zimmermann

Koppers Company, Inc.

Engineering and Construction Division

Pittsburgh, Pa. — U.S.A.

Introducción.

Hace algunos años, comprendiendo que la demanda futura de aglomerados para el alto horno habría de aumentar, la investigación se centró en la producción de pélets por carbonatación.

La peletización por carbonatación.

La peletización por carbonatación es un procedimiento sencillo, de baja temperatura: 93°C, contra los 1315°C que exigen los métodos convencionales de piroconsolidación. En el sistema de peletización por carbonatación se forman pélets con una mezcla de finos o concentrados de mineral de fierro, hidróxido básico y otros materiales como el carbón, y se ponen en contacto con bióxido de carbono en condiciones de humedad controlada. El hidróxido básico y el bióxido de carbono reaccionan para formar un carbonato básico de resistencia mecánica considerable.



Se han producido pélets por carbonatación a partir de muchos tipos y mezclas de materiales ferríferos, entre ellos: el concentrado de hematita especular, el concentrado de magnetita, el concentrado de magnetita y hematita, la martita, la itabirita, los finos de minerales naturales, el polvo de tragante del alto horno y los limos.

Se pueden producir pélets con una amplia gama granulométrica (figura 1). En los ensayos de laboratorio se simulaban diversas composiciones granulométricas mezclando distintas proporciones de concentrado de hematita especular, molido y sin moler. En la figura 2 se puede distinguir el concentrado grueso, sin moler, como partículas plateadas en forma de copos.

Se produjeron pélets por carbonatación empleando dos mezclas de concentrado de magnetita y hematita de granulometrías diferentes; la resistencia final se comparó con la de los pélets piroconsolidados comerciales, hechos del mismo material. Los resultados que se ven en el Cuadro I muestran que los índices de resistencia de los pélets por carbonatación pueden ser comparados con los de los pélets piroconsolidados.

Se enviaron distintos tipos de pélets por carbonatación a organizaciones independientes de investigación, las que realizaron el ensayo Linder normal¹. Los resultados que

se dan en el Cuadro II señalan que el comportamiento de los pélets por carbonatación es comparable al de los pélets piroconsolidados ensayados. Los pélets por carbonatación no se hinchan excesivamente ni se descascaran durante la reducción, como se aprecia en la figura 3.

La adición de carbón a una mezcla de materiales ferríferos y cal produjo los resultados que se ven en la figura 4. Como se esperaba, la presencia de carbón in-

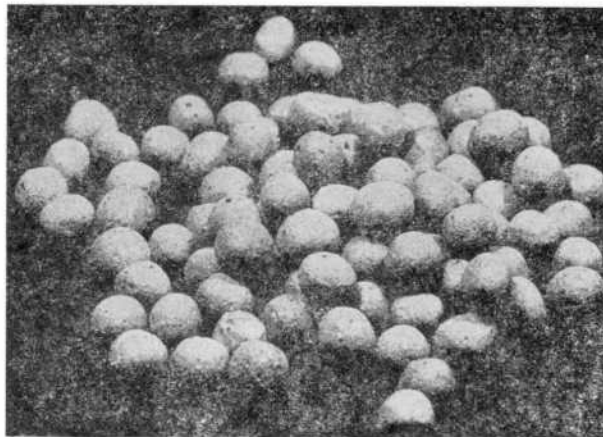


Figura 1

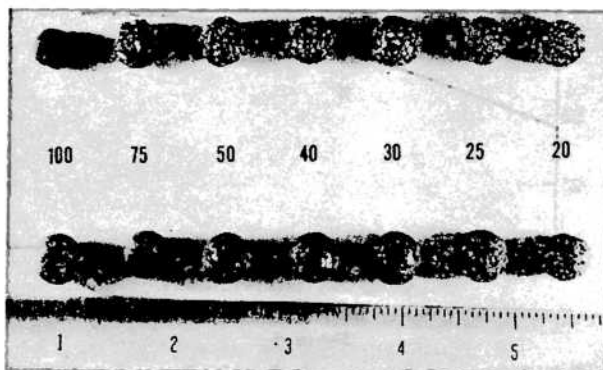


Figura 2

Referencia: 1) R. Linder —Application of Reducibility Tests Results to Practical Ironmaking; AIME Annual Meeting, New York, February 16, 1964.

Cuadro I
Resistencia de los pélets.

Muestra	Porcentaje de material de + ¼" después de 200 revoluciones en el ensayo de tambor.	Carga promedio total de rotura a la compresión, en libras. (pélets de ½" + 7/16")
Pélets C—B, A (Blaine 1.120)	97	271
Pélets C—B, B (Blaine 710)	96	376
Pélets piroconsolidados (Blaine 1.500—2.000)	94	330

Cuadro II
Resultados de Ensayo de Linder a 1.000°C.

Muestra de pélet	Porcentaje de fracturado		
	—10M	—14M	—30M
Piroconsolidado		7.6	
C.B. —"A"		3.5	
C.B. —"B"		9.0	
C.B. —"C"	2.5		2.5

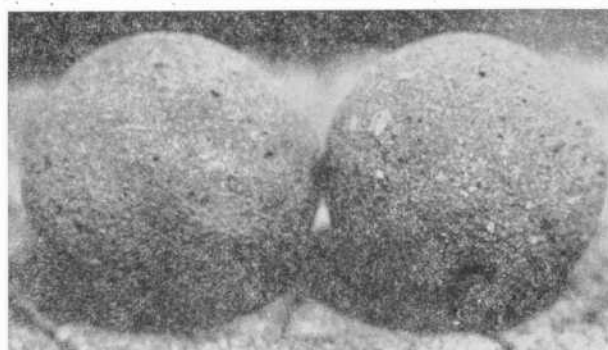


Figura 3

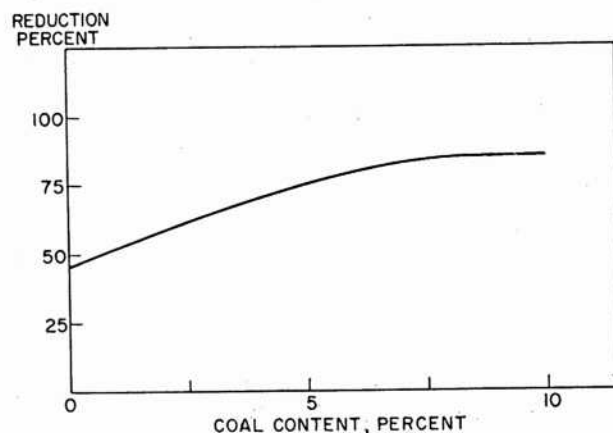


Figura 4

Reduction percent = porcentaje de reducción; coal content, percent = contenido de carbón, porcentaje.

terior, finamente dividido, tuvo un pronunciado efecto sobre el aumento de la reducibilidad cuando los pélets fueron sometidos a gases calientes de reducción.

La adición de bentonita, tan corriente en la fabricación de pélets piroconsolidados, no se emplea en el procedimiento de aglomeración por carbonatación.

Los siguientes rasgos importantes caracterizan el procedimiento de aglomeración por carbonatación:

1. El procedimiento endurece los pélets por medio de una técnica química en frío, contra el tratamiento de alta temperatura que se necesita en otros métodos de peletización, con lo que se obtienen ahorros en los costos.
2. Se puede necesitar menos trituración de los materiales ferríferos antes de peletizar, lo que determina nuevos ahorros en los costos.
3. Ofrece la alternativa única de añadir materiales sensibles al calor, como el carbono, si fueren necesarios en la composición de pélets.
4. No se necesita emplear bentonita como agente aglomerante.

Operación de la planta piloto.

En el verano de 1966 se produjeron 1.500 toneladas de pélets por carbonatación, con fines experimentales, a pedido de una importante empresa siderúrgica norteamericana, en una planta piloto situada en Montrose, N. Y. (figura 5). La planta estaba calculada para un rendimiento de 3 a 4 toneladas por hora. La granulometría de los pélets fue de — 16 mm a + 9,5 mm y se compusieron de una mezcla de concentrados de hematita especular, finos de carbón e hidrato de cal. Las especificaciones de resistencia señaladas por el control de calidad exigían que el % de + 6,35 mm, después de 200 revoluciones en tambor según el procedimiento normal ASTM para este ensayo, no fuera inferior a 95%.

El concentrado espiral se presentó en dos formas: molido y sin moler. La parte sin moler constituía el 35% del material ferrífero. La composición granulométrica de la mezcla de concentrados se ve en el Cuadro III.



Fig. 5.—Planta piloto de peletización en Montrose, N. Y.

Cuadro III

La granulometría del concentrado consiste en:

mallá, tamiz	porcentaje
+ 60	29
+ 100	5
+ 200	5
+ 325	8
— 325	53

Las materias primas se pesaron, mezclaron y alimentaron al tambor de peletización, secador y carbonatador, por medio de una serie de cribas vibradoras y correas transportadoras. Al salir del carbonatador el producto pasaba por una criba vibradora doble y caía a unas tolvas portátiles de 3 toneladas, las que eran transportadas y vaciadas a un carro de ferrocarril abierto, con fondo de tolva.

El secado de los pélets se efectuó con aire precalentado que entraba a 120-149°C y salía a 26-38°C. La temperatura de los pélets era de 24-32°C, una vez secados. La atmósfera de gas en el interior del carbonatador era de bióxido de carbono frío que pasaba a través del lecho de pélets, endureciendo los pélets por medios químicos, como se dijo más arriba. Las características físicas y la composición química de los pélets se dan en los Cuadros IV y V.

Cuadro IV

Características físicas del producto.

granulometría	—5/8" x 5/16"
porcentaje de + 1/4" en el ensayo de tambor	95 — 99
humedad %	1%
densidad volumétrica, lb/ft ³	130

Cuadro V

Composición química del producto.

Fierro	55.16
Acidos	4.73
Bases	7.53
Carbono	4.35
Azufre	0.06

Ensayo en el alto horno.

A comienzos de 1967 las 1.500 toneladas de pélets por carbonatación se cargaron en un horno experimental, con el fin de avaluarlas. El alto horno experimental tiene una solera movable de 1,22 m de diámetro, una altura útil de aproximadamente 6,1 m, y tres toberas colocadas a 120° una de otra. Para precalentar el viento se emplean dos calentadores de ladrillos de alúmina, que queman gas natural.

Los objetivos del programa eran: determinar el consumo específico de coque mínimo, con una carga de pélets por carbonatación, en condiciones prefijadas de temperatura y velocidad del viento, mientras se mantenía en 1% el contenido de silicio en el arrabio fundido, y obser-



Figura 6

Playa de almacenamiento de pélets.

var el comportamiento dentro del horno de los pélets por carbonatación, comparado con el de los pélets piroconsolidados y el sinter autofundente calibrado.

Las 1.500 t de pélets por carbonatación fueron enviadas por ferrocarril a 800 km de la planta piloto a una playa de almacenamiento al aire libre, próxima al horno (figura 6). Los pélets permanecieron en una pila descubierta durante los meses de invierno y luego fueron transportados por camión y transportador a la bodega de almacenamiento del horno; después fueron cribados en una criba de 6,35 mm, al salir del depósito, antes de transportarlos a los carritos para cargar el horno. Del cribado sólo quedó un 2% de finos. Los ensayos señalan que los pélets se tornaron más resistentes con el paso del tiempo. Los pélets poseen las propiedades de alta resistencia a los rigores del transporte, intemperie y descarga que normalmente sufren los materiales para carga del alto horno.

En el curso del ensayo en el alto horno experimental la operación con los pélets se comparó con el sinter calibrado a +3,2 mm —25,4 mm, y con pélets piroconsolidados corrientes procedentes de una planta comercial. La composición de los pélets corrientes era tal que en los ensayos resultó un volumen de escoria notablemente menor. El sinter autofundente también produjo un volumen de escoria algo más bajo que los pélets por carbonatación. La operación del horno durante el período de ensayo de los pélets por carbonatación se vio afectada adversamente por mal funcionamiento del mecanismo de carga y por algunos cambios demasiado rápidos que se efectuaron en la carga.

Durante el período de 16 días de operación con una carga de 100% de pélets por carbonatación, y pese a los factores adversos, se demostró que estos mostraban un consumo específico de coque más bajo que el de los pélets piroconsolidados y sólo ligeramente más alto que el del sinter autofundente, a todos los niveles ensayados, hechas las correcciones a la misma velocidad del viento y a igual contenido de silicio en el arrabio fundido, pero sin ajuste para la diferencia en el volumen de escoria de los pélets por carbonatación. Estos datos se dan en los Cuadros VI y VII. Las observaciones indicaron que con mayores ensayos se hubiera podido obtener consumos específicos de coque aún mejores.

Cuadro VI

Productividad y requisitos de coque para diferentes cargas del alto horno, con caudal de viento de 1.450 pié³ normal/min y temperatura del viento caliente de 2.100°F.

	Pélets C-B	Pélets piroconsolidados	Sinter autofundente calibrado
Caudal de viento en pié ³ normal por minuto por pié cuadrado de área de crisol.....	115	115	115
Humedad del viento en granos/pié ³ normal seco.....	20	20	11
Consumo específico de coque mínimo, en libras/tonelada neta de arrabio, para contenidos de silicio en el arrabio de 1%.....	1050	1085	1015
Tasa de producción en libras/hora	3485	3530	3950
Toneladas netas de arrabio por pié cuadrado de área de crisol....	3.33	3.37	3.77
Volumen de escoria en libras/tonelada de arrabio.....	665	425	600
Peso de polvo producido en libras por tonelada de arrabio.....	26	28	17

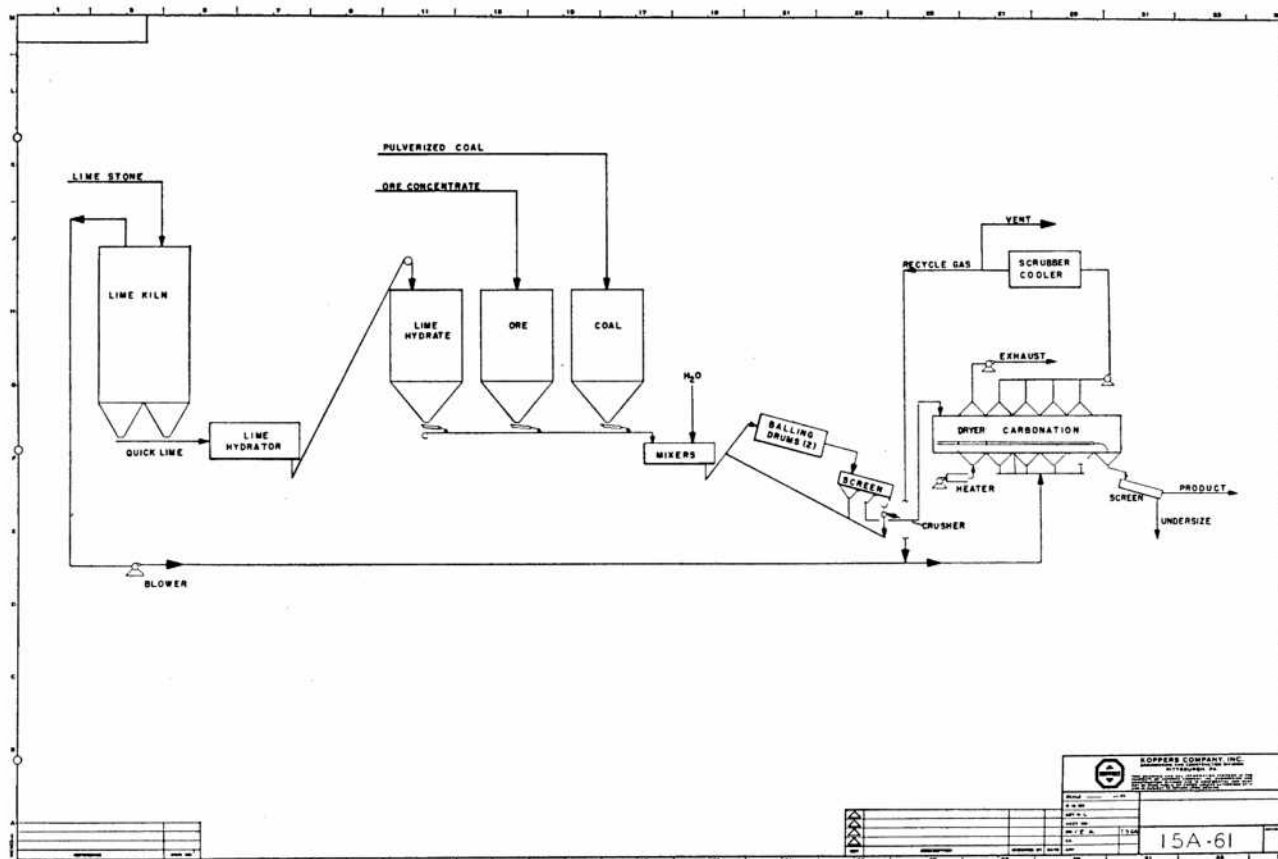


Figura 7.—Diagrama de una planta de peletización por carbonatación.

Lime stone = caliza; lime kiln = horno de cal; quick lime = cal viva; blower = soplante; lime hydrator = hidratador de cal; pulverized coal = carbón pulverizado; ore concentrate = concentrado de mineral; ore = mineral; coal = carbón; mixers = mezcladores; balling drums = tambores peletizadores; screen = criba; crusher = trituradora; vent = ventilación; recycle gas = recirculación de gas; scrubber cooler = purificador enfriador; exhaust = escape; dryer = secador; carbonation = carbonatación; heater = calentador; product = producto; undersize = finos.

Cuadro VII

Productividad y requisitos de coque para diferentes cargas del alto horno, con caudal de viento 1.850 pié³ normal/min y temperatura del viento caliente de 2.100°F.

	Pélets C-B	Pélets piroconsolidados	Sinter autofundente calibrado
Caudal del viento en pié ³ normal por minuto por pié cuadrado de área de crisol.....	147	147	147
Humedad del viento en granos/pié ³ normal seco.....	25	20	18
Consumo específico de coque mínimo, en libras/tonelada neta de arrabio	1100	1125	1055
Tasa de producción en libras/hora	4200	4370	4800
Toneladas netas de arrabio por pié cuadrado de área de crisol....	4.01	4.17	4.58
Volumen de escoria en libras/tonelada de arrabio.....	665	425	600
Peso de polvo producido en libras por tonelada de arrabio.....	30	45	18

La operación del horno durante este período fue enteramente regular y normal, y no se presentaron dificultades de operación que pudieran atribuirse a los pélets por carbonatación. El nivel de polvo de tragante fue muy similar al de los otros materiales y quedaba entre los niveles correspondientes a los pélets convencionales y al sinter calibrado. Todos estaban tan próximos que no se puede llegar a una conclusión definitiva en cuanto al material que dio el menor nivel de polvo de tragante. En suma, se puede decir que los pélets por carbonatación, como material para el alto horno, se encuentran en la misma categoría que los pélets piroconsolidados y el sinter autofundente calibrado, y su comportamiento es comparable al de los pélets piroconsolidados. Esto confirma los resultados de los ensayos de laboratorio.

No nos hemos quedado en las pruebas presentadas hasta ahora, sino que hemos emprendido un programa de seis meses de mayores ensayos, con el fin de explorar el propio mecanismo de aglomeración y la extensión del control de la microporosidad que se piensa es inherente a este procedimiento. Cuando se encuentre la clave de este aspecto de los pélets por carbonatación, nos encontraremos verdaderamente en camino de producir un material óptimo para alimentar el alto horno, con un control fiable de la composición química, dimensiones físicas y microporosidad.

Planta comercial.

El procedimiento de aglomeración por carbonatación se presta para la construcción de plantas comerciales en una amplia gama de capacidades: desde 200.000 a dos millones de toneladas al año. Esta planta comprendería las siguientes instalaciones principales, como se ve en el diagrama de flujo (figura 7):

- 1) Calcinación de cal e hidratación,
- 2) almacenamiento de materias primas,
- 3) peletización: aglomeración y consolidación,
- 4) cribado y almacenamiento del producto.

El sistema de aglomeración por carbonatación necesita un horno de cal y una instalación de hidratación que sirve un doble propósito, por cuanto proporciona tanto una fuente de gas enriquecido con CO_2 como la cal necesaria para la carbonatación de los pélets. Si la planta de peletización puede situarse próxima a una instalación productora de cal existente y que tenga un horno con capacidad mayor que la que necesita (como ser para una operación de horno de aceración al oxígeno), habría una cantidad abundante de cal y de gas enriquecido con bióxido de carbono, que servirían para la carbonatación, y se lograrían ciertos ahorros en los costos.

Refiriéndonos nuevamente al diagrama de flujo, la caliza triturada se entrega al horno vertical de calcinación, donde se la transforma en cal viva. Los controles mantienen el gas producido para que sirva como fuente de CO_2 para la carbonatación. La cal viva se convertirá en hidrato ($\text{Ca}(\text{HO})_2$) mediante un procedimiento continuo de hidratación en seco, y luego se molerá a malla -325 mesh en un molino de rodillos y separador.

Los concentrados de mineral, el carbón, si se desea, y otros materiales se encuentran en la zona de almacenamiento de materias primas, donde se miden y se entregan a un transportador que alimenta un mezclador vertical continuo. El mezclado es una operación de dos etapas: los materiales se mezclan en seco en la primera, y el agua se agrega en la segunda. El contenido de humedad se regula a un nivel prefijado y determinado por la composición de los materiales que se han de peletizar. El material húmedo se mezcla una vez y más y se alimenta a los tambores de peletización.

Cada tambor está provisto de un tamiz horizontal que elimina los pélets crudos demasiado grandes o demasiado pequeños. El producto demasiado grande se pulveriza y se recircula a los tambores de peletización, junto con el producto demasiado pequeño.

El secado de los pélets crudos para darles el contenido correcto de humedad y la carbonatación (consolidación) se realizan en zonas separadas de una misma instalación, la cual posee un lecho circular rotatorio. Los pélets crudos pasan en forma continua y en capas de espesor suficiente a las bandejas que adelantan hacia la zona de secado; éste se realiza con una corriente ascendente de gases calientes de combustión a una temperatura de 260°C aproximadamente.

Los pélets crudos secos pasan directamente a la zona de carbonatación donde se les expone a una corriente ascendente de gas enriquecido con CO_2 a una temperatura de 71°C. El CO_2 y el hidrato de cal reaccionan para formar el carbonato aglomerante que da a los pélets resistencia y dureza. El ventilador de escape descarga el gas del carbonatador a la instalación purificadora de gases, donde este gas se enfría y se combina con el del horno de cal para luego volver al carbonatador. El polvo recuperado se devuelve a los tambores de peletización.

Al final de la zona de carbonatación los pélets se descargan en una canaleta que los lleva a la estación cribadora. Los finos se retiran y los pélets se transportan a los depósitos de almacenamiento para ser descargados en carros de ferrocarril con fondo de tolva, o en una pila de almacenamiento.

Conclusión.

En conclusión, el sistema de peletización por carbonatación ha dado pruebas satisfactorias en escala de laboratorio y de producción en planta piloto. Se ha demostrado que constituyen un material aceptable para la carga del alto horno, cuyo comportamiento es comparable al del producto de otros procedimientos existentes. Los aspectos de costo se presentan atrayentes, y la construcción de una instalación comercial es completamente viable.

Síntesis de los debates originados durante la Sesión Técnica Nº 2

Respecto de la Conferencia del Sr. S. Uchikawa.

P. M. Bohomoletz — En la fabricación de sinter, ¿cuál es la tendencia en lo que se refiere a la basicidad? ¿Quieren ustedes sinter autofundente, muy autofundente? ¿Cuál es la tendencia?

S. Uchikawa — La basicidad que estamos usando es 1,3% y pensamos que este es el nivel adecuado. No tenemos intenciones de aumentarla. Pensamos que la basicidad debe ser de 1,3% o 1,4% y no más.

L. Morán — Quisiera saber cuál es el rango de precisión en el control automático de la humedad durante el proceso.

S. Uchikawa — Nuestro objetivo es mantener 6% de humedad en la mezcla, lo que se controla automáticamente. Tenemos para esto un dispositivo electrónico de control de la humedad.

Respecto de la Conferencia del Sr. Coheur, expuesta por el Sr. A. Bragard.

M. C. Chang — Algo que me gusta del sistema expuesto en el trabajo es que es muy sencillo, y que se puede construir y manejar muy fácilmente. Pienso que la diferencia entre la técnica de ustedes en Europa y la japonesa, como la describe el señor Uchikawa, es que en Japón se dedica un gran esfuerzo a mezclar la materia prima, para que sea relativamente uniforme; si se tiene un material uniforme, no se necesitan todos estos complicados controles.

A. Bragard — Le agradezco mucho su comentario y por mi parte diré que las tres plantas que fabrican el sinter más parejo tienen control automático de la humedad y de las adiciones de carbón: de éstas sólo una tiene homogenización (bedding) y sin embargo, también ha adoptado el control automático. En todo caso si se mira la homogenización como una forma de controlar la unidad, me parece que su costo sería mucho más elevado que el de la instalación sencilla que he descrito.

M. C. Chang — Estimo que eso depende bastante de los materiales que se empleen. A veces se compran materiales relativamente uniformes y entonces tal vez sea cierto que se pueda controlar el funcionamiento de la planta de sinterización de tal manera que se produzca un producto de buena calidad. Pero si la calidad del mineral que se compra no es demasiado uniforme pueden surgir problemas. Además, en otras plantas donde hay que trabajar con cascarillas de laminación, polvo de tragante y filtrado del espesador, resulta algo complicado obtener buenos resultados sin un sistema de homogenización.

A. Bragard — Sí. Por otra parte, yo he estudiado dos plantas diferentes donde tenían una instalación de homogenización. Y tomamos muestras del sinter durante todo el día, para medir las variaciones en su calidad, en el curso del día. Y encontramos lo siguiente: a lo largo de un período de varios días, digamos tres o cuatro días, el sinter resulta muy parejo, la calidad es muy pareja. Pasado cierto tiempo se puede apreciar una desviación de la calidad del sinter hacia otro nivel de calidad, la que permanece constante durante otros dos o tres días, y todo el tiempo se repite lo mismo. Claro que si se tiene un sistema de homoge-

nización se puede regular en forma más fácil que si no se lo tiene. Pero quiero agregar que aunque se tenga este sistema, de todos modos hay que controlar las adiciones, porque las propiedades del coque para la sinterización van a cambiar mucho a lo largo del tiempo.

M. C. Chang — Sí, especialmente la humedad.

R. Jennings — Lo que dice el señor Chang es muy acertado. Conozco un poco las plantas belgas, y creo que la de Espérance-Longdoz que él mencionó no tiene instalación de homogenización. ¿Hay cifras que indiquen la diferencia en el control, el valor del control que se menciona en el trabajo, cuando se tiene y cuando no se tiene sistema de homogenización?

A. Bragard — No tenemos sistema de homogenización.

R. Jennings — N6. en Espérance-Longdoz n6. ¿Tiene usted algunos datos que indiquen que en plantas, con este método, el control resulte más difícil o más fácil, comparado con otras plantas, como la de Providence, donde tienen sistemas de homogenización?

A. Bragard — En Providence tienen sistemas de homogenización, como usted dice, pero usted habrá visto tal vez que han adoptado el control automático para la humedad y para la adición de coque. Tienen un control de los finos de recirculación para poder agregar el coque en la proporción adecuada, y esto, a pesar del sistema de homogenización que tenían antes.

R. Jennings — Lo que estoy tratando de averiguar es el valor de tener o no tener instalación de homogenización para el problema de control de calidad. Usted dice que su sistema de control le permite ejercer un control completo de la calidad y resistencia del sinter, aún cuando no se tiene una instalación de homogenización. ¿Tiene usted algún dato que indique que si se tiene una instalación de homogenización ese control resulte más fácil o igual?

A. Bragard — Le contestaré ahora, pero además tengo cifras que puedo enviar por escrito. Hemos estudiado dos plantas diferentes que tienen homogenización, durante varios días, y vimos que la calidad del sinter era muy constante y se mantenía durante algunos días y luego había una desviación en el tiempo, de manera que pienso que si se tiene instalación de homogenización será más fácil realizar el control de las condiciones, porque no se tienen tantas variaciones; en el hecho, no se necesita control automático, basta una señal que indique que la calidad ha cambiado, y se tiene todo el tiempo que se quiera para hacer las modificaciones.

P. M. Bohomoletz — El asunto es muy importante y muy interesante para la regulación de los procedimientos continuos de aglomeración que se aplican tanto a sinter como a pélets.

J. Astier — Creo que a menudo se oponen dos filosofías diferentes: una, la de tener un funcionamiento absolutamente constante de la instalación de aglomeración, especialmente con homogenización, lo que teóricamente suprimiría la necesidad de controlar, y un segundo método en el cual habría variaciones que se dejarían pasar y que se corregirían en seguida. Naturalmente, pienso que el señor Bragard estará

de acuerdo conmigo en pensar que son dos posiciones extremas; en realidad hay que adaptarse a lo mejor. Es evidente que si se tiene una gran regularidad en los abastecimientos y homogenización, la necesidad de control resulta mucho menor, en tanto que, si se tiene mucho más variaciones, en los suministros, por ejemplo, todos los controles que se han descrito serán útiles y hasta indispensables, probablemente.

A. Bragard — Si, estimo que usted tiene razón al decir que la homogenización y el control de la planta de síntesis son dos cosas diferentes y tienen, quizás, dos objetivos distintos. El mejor ejemplo es el de Providence en Marchienne-au-Pont, donde se ha estudiado con mucha precisión lo que la homogenización es capaz de dar y después de eso, de todos modos, adoptaron el sistema de control, porque ese era otro objetivo. La homogenización estaba destinada a dar al sinter una composición química constante, y el control, dar al sinter propiedades físicas constantes.

Respecto de la Conferencia de los señores H. A. Halupka y L. F. Morán.

B. Leuschner — Quería hacerle una pregunta un poco confidencial al señor Morán. ¿Qué porcentaje de pélets fracturados llegan a manos del consumidor en el Japón? ¿Cuál es el porcentaje aproximado que fractura?

L. Morán — Nuestro promedio anual de embarques es con menos de 3% de menos de 1/4 de pulgada.

B. Leuschner — En Marcona. Pero ¿al llegar a Japón?

L. Morán — Contra análisis en puerto de desembarque.

M. C. Chang — Creo que debo decir que Marcona tiene una operación muy buena, porque allí estudian los problemas y tratan de resolverlos. Si toda la gente que nos compra maquinarias las trabajara en la forma que lo hace Marcona, no tendríamos muchos problemas.

J. Cárdenas — Dr. Morán, si no hay inconveniente, pido que me indique si la adición de sílice se debe a razones de orden físico o químico, o ambas.

L. Morán — La adición de sílice, una de las principales razones por la cual la hacemos, es para controlar el índice de hinchamiento del pélet durante la fase de reducción en el alto horno.

J. Cárdenas — Quiero saber también si esta adición influye en el grado de resistencia del pélet en su utilización en el alto horno.

L. Morán — La única respuesta que puedo darle es en el sentido de que como hemos ido acercando nuestro control al 4%, ha ido aumentando la satisfacción de los clientes.

P. M. Bohomoletz — Sr. Remy Valdivieso. Díganos algo que el ingeniero Morán no nos dice. ¿No hay nada que confesar?

L. Remy — Lo único que podría añadir a lo que el Ing. Morán no dice, es la dedicación total y absoluta del Ing. Morán a resolver los problemas de la peletización. Como él lo ha dicho, todos esos problemas han sido solucionados no a nivel internacional, sino a nivel local, y el homenaje lo constituye la propia aceptación de los compradores.

A. Bragard — Cuando se emplea silicio para la formación de los pélets, a veces se encuentran problemas debido a los ciclos que se presentan en la dimensión de los pélets. ¿Observaron ustedes este fenómeno y cómo lo resolvieron?

L. Morán — La solución de ese problema no es más que un estricto control de calidad, especialmente en la fase de la filtración, sobre todo en nuestra planta; es prácticamente imposible hacer ninguna mejora si no tenemos una buena materia prima en la mano. En otras plantas, por ejemplo,

donde utilizan el tambor, el cilindro peletizador, zaranda a la descarga del tambor, cualquier deficiencia en la operación del tambor es compensada por la zaranda. Nosotros en cambio, no tenemos esa ventaja, por lo cual todo nuestro énfasis está en el control de la filtración.

J. Cárdenas — Ingeniero Morán, solamente quería solicitarle me indique cuál es la incidencia del azufre del petróleo en el producto final; mejor dicho, la incidencia del azufre del petróleo en la composición final del pélet.

L. Morán — Yo creo que, aparte de los problemas de corrosión por todos los sitios por donde pasan los gases de combustión, el azufre no afecta al proceso, porque la reacción no se realiza dentro de la masa misma del pélet. Cuando hemos trabajado nosotros con bajo azufre en el concentrado filtrado, muchas veces hemos utilizado petróleo de alto azufre y no hemos notado la interferencia del azufre del petróleo, excepto en las condiciones ambientales de la planta y en la corrosión.

Respecto de la Conferencia del Sr. M. C. Chang.

P. M. Bohomoletz — El doctor Chang, para economizar tiempo, abrevió su exposición y no mencionó los asuntos contenidos en las páginas D4, D5 y D6 de su trabajo. Las expresiones matemáticas a que llega y el resultado final tienen una importancia muy grande, por cuanto permiten determinar parámetros de los procesos de peletización dentro de una clasificación geológica de minerales de fierro, clasificación muy razonable y suficientemente aproximada para fines industriales. De este modo, sugiero al auditorio que durante el debate interroguen al Dr. Chang sobre estos asuntos, puesto que el trabajo fue distribuido con gran anticipación y muchos probablemente tuvieron la oportunidad de leerlo.

J. Astier — Creo que en el cuadro que da los cuatro tipos de mineral de fierro y la importancia de cada fuerza de impulsión, podría haber otra línea con la energía química. El señor Chang toma en cuenta solamente la oxidación de la magnetita en hematita, pero si tiene mineral de fierro que contiene caliza, ya sea en el propio mineral o por adición, o limonita, hay cierto número de reacciones posibles de degradación, descarbonatación y formación de silicatos, que hay que tomar en cuenta, ciertamente y, tal como lo explica, esto podría cambiar completamente la secuencia de la clasificación según el orden de magnitud de las fuerzas de impulsión.

M. C. Chang — Sí; es correcto, pero esa es precisamente la razón por qué limité la exposición de los pélets ácidos, y no traté los pélets autofundentes. Si hablamos de pélets autofundentes, estoy seguro de que habrá cierto grado de aglomeración por escoria.

J. Miller — Quisiera preguntar si en el trabajo del señor Chang se da alguna explicación del fenómeno que a grandes rasgos llamamos "hinchamientos".

M. C. Chang — Hablar de hinchamiento nos tomaría por lo menos medio día, pero en el hecho hay, principalmente dos clases de hinchamiento. Uno es el que llamamos hinchamiento "catastrófico" que tiene lugar en la etapa de reducción en estado metálico, y otro es el que llamamos hinchamiento "normal", que ocurre durante la reducción de hematita a magnetita. El hinchamiento catastrófico, al menos en mi opinión, y creo tener pruebas suficientes para apoyarla, es el que normalmente produce trastornos en el alto horno. El hinchamiento normal, siempre que los pélets conserven una resistencia relativa, no tiene por qué producir problemas en el alto horno. El mecanismo de aglomeración tiene que ver, en cierta medida, con la resistencia del material después de la reducción; pero en este caso no tiene nada que ver con el hinchamiento catastrófico. El origen del hinchamiento de tipo catastrófico se encuentra

normalmente en el propio material de origen. Si se hace un pélet crudo con este material y se reduce, se hinchará endiablidamente de todos modos.

En este caso, se necesita, normalmente, cocer a 330°F, más o menos, para destruir las estructuras cristalinas originales. Al hacerlo, se destruye la tendencia que tiene este material a hincharse en forma catastrófica. En este momento creo que es todo lo que puedo decir sobre esto, porque podríamos pasar toda la tarde y la noche analizando el asunto.

A. Bragard — Quisiera hacer una contribución al trabajo del señor Chang. En su trabajo el señor Chang ha señalado el efecto perjudicial del óxido de calcio en la aglomeración directa de los granos de óxido de hierro. En el CNRM, en Bélgica, hemos estudiado el mismo tipo de problema, y puede ser interesante resumir algunas de las conclusiones que hemos obtenido. Según nuestros resultados, el mecanismo de la aglomeración directa de dos granos de hematita podría ser el siguiente: al entrar en contacto los dos granos, la hematita se descompone en magnetita bajo la acción del calor; se produce la recristalización, seguida de reoxidación, y aparece el enlace o unión de hematita.

El CaO, aún en pequeñas cantidades, disminuye la temperatura de descomposición en 20 a 25 grados centígrados y esta diferencia tiene un efecto muy favorable para el manejo de la banda de peletización. Por supuesto la actividad del CaO depende de su capacidad para reaccionar con la hematita, esto es, si el CaO se disuelve en el agua, lo que puede obtenerse agregando azúcar al agua; el CaO se disemina bien en el mineral y se torna muy activo.

En fotografías de sínter hemos examinado con microsonda electrónica puntos en que aparecen cristales unidos de magnetita para obtener así la imagen de distribución del calcio. Hemos comprobado que entre los cristales de magnetita se produce una cementación o enlace por escoria, rica en CaO y la migración del calcio al interior de dichos cristales de magnetita.

El segundo punto que quiero tratar es esta influencia del CaO en las propiedades de los pélets y, según nosotros, dos propiedades tienen importancia: la resistencia y la tendencia al hinchamiento durante la reducción.

En nuestro Instituto, el CNRM, se han realizado varios ensayos con pélets fabricados con mineral de Itabira. Se han estudiado dos mezclas: una con 0,4% de caliza, la segunda con 1,2% de caliza. La molienda se caracterizó por una fineza Blaine de 1800 cm² por gramo y se aplicaron distintas temperaturas de cocción.

Aquí hemos comprobado que en los dos casos la resistencia pasa por un máximo, pero la zona de menor hinchamiento no corresponde a la de máxima resistencia de los pélets.

Si se compara el grado de hinchamiento para un grado de 50% de reducción contra la temperatura de cocción de los pélets, se ve que el CaO tiene un efecto beneficioso sobre el hinchamiento cuando la temperatura de cocción es baja. Esta influencia desaparece cuando la temperatura de cocción es suficientemente elevada.

Creo que estas observaciones pueden ser interesantes para los productores de pélets.

Respecto de la Conferencia de los señores

R. W. Hornbaker y R. E. Zimmermann.

S. Eketorj — Tengo dos preguntas que formular; una es que desearía conocer algo del costo de este método y la otra es la cantidad de cal que se agrega. Este producto se parece mucho a un sistema sueco de pélets aglomerados con cemento. Se han probado 35.000 toneladas en un alto horno, obteniéndose buenos resultados o más bien resultados usuales o corrientes, podría decirse. El costo de producción de estos pélets es un poco mayor que el que se obtiene con los procedimientos convencionales. La inversión

es un tercio de la de los otros procedimientos. Se espera obtener una disminución en el costo, de modo que se ha decidido construir una planta de 1 millón de toneladas. Resulta un tanto trágico para un metalurgista mezclar cemento; le quita toda la gloria a la metalurgia. Pero, claro, si el precio está bien, no hay nada que hacer contra eso.

R. W. Hornbaker — Primero un comentario acerca de los procesos. El trabajo inicial, en este caso, fue aglomerar con cemento, y estos grandes bloques se usaron para cargar el horno Siemens-Martin; después siguió la aglomeración con carbonato y de ahí a los pélets obtenidos por carbonatación. En cuanto al contenido de caliza, varía según el tipo de minerales y de materiales que se están usando. Está entre 4 y 9%; no puedo darle una respuesta precisa, porque, como usted seguramente sabe, el contenido varía entre una partida de material y otra.

En cuanto a informaciones de costo no puedo ser muy preciso, pues nos encontramos en este momento en la etapa de desarrollo de la ingeniería de plantas de escala industrial, y no hemos concluido todo nuestro trabajo. Confiaba en que lo tuviéramos terminado, para poder dar aquí alguna información, pero no fue así. Hay indicios de que la inversión de capital será comparable o algo inferior a la de una instalación de pélets piroconsolidados, y los costos de operación será probablemente un 15% inferiores a la de esos pélets. No puedo dar cifras exactas, porque no estamos lo bastante seguros todavía como para publicarlas, pero lo haremos dentro de los próximos meses.

M. C. Chang — Yo tengo varias preguntas. Una de ellas es la siguiente: si usted construye una planta como la suya en, por ejemplo Punta Tubarão, donde tiene que vender el producto para exportación, va a dejar de percibir alrededor de un dólar y ochenta centavos por el producto. Voy a explicar por qué. Si recuerdo bien, la hematita especular tiene alrededor de 65% de hierro, en el producto se diluirá a 56%, o sea 9% de diferencia que calculando a 20 centavos de dólar por unidad equivale a 1,80 dólares.

La segunda cosa es ésta: se trata del hinchamiento. Hay materiales que se hinchan debido a la condición original del concentrado. En nuestra experiencia se necesita cocer a una temperatura de 2300°F o aún más para destruir la estructura cristalina original con el fin de evitar el hinchamiento catastrófico tan inconveniente en el alto horno. ¿Cómo se puede evitar eso en el pélet aglomerado a baja temperatura?

R. W. Hornbaker — Con respecto a su primera pregunta, no dejé en claro que yo estaba hablando de precios domésticos, que son los únicos que hemos tenido que analizar hasta ahora; lo que usted dice de las instalaciones extranjeras seguramente es cierto, pero nosotros no hemos llegado tan lejos todavía.

En cuanto al hinchamiento, no sé lo bastante acerca de eso para poder darle una respuesta detallada; nuevamente tengo que confiar en la experiencia del dueño de nuestra licencia en este trabajo; ellos han experimentado con muchas clases de materiales y no han observado hinchamiento excesivo en los pélets que han producido; eso es todo lo que puedo decir sobre esto.

M. C. Chang — Le aseguro que van a tener problemas con el material. Ahora bien, el índice que resulta más útil para predecir el comportamiento del alto horno es el índice de degradación a 1/4 pulgada. ¿Tiene usted algún resultado para este índice en sus pélets obtenidos por carbonatación?

R. W. Hornbaker — Nó, no tenemos información acerca de esto.

M. C. Chang — Finalmente, quisiera llamar la atención a la gente que trata de predecir el comportamiento de un alto horno grande con un hornito de cuatro pies y medio de diámetro de crisol. Si recuerdo correctamente, hace algunos años en el Bureau of Mines, en Pittsburgh, hicieron

un ensayo con pélets crudos en el alto horno. Pélets crudos, sin aglomerados con carbonato, sin nada, simplemente pélets crudos. En ese momento los resultados indicaron que el alto horno funcionó bien, hicieron arrabio bueno, no quebraron ningún record, por supuesto; pero aquí también, si ustedes ponen estos pélets crudos en un alto horno de, digamos, 35 pies de crisol, puedo garantizarles que ocurrirá un desastre.

R. W. Hornbaker — Bien, lo que dice usted del paso entre el proyecto piloto y el nivel de producción industrial se puede aplicar a muchos procesos metalúrgicos, y ha habido muchas experiencias en ambos sentidos. Está claro que no hemos hecho ensayos en alto horno de escala industrial; los resultados que hemos obtenido hasta aquí nos estimulan, tenemos experiencia en el campo del alto horno, y la confianza suficiente para permitirnos continuar trabajando en este programa. Cuando lleguemos al horno grande, seré el primero en avisarle.

P. M. Bohomoletz — Quisiera preguntarle algo al señor Chang. No sé por qué el señor Chang está tan seguro de que habrá problemas con estos pélets en el alto horno, en cuanto al hinchamiento, por ejemplo. Las partículas finas de mineral de hierro no están aglomeradas con caliza o con cal; se trata de una estructura obtenida por carbonatación que es algo distinto. Luego, en mi opinión, a medida que avanza la carga en el horno se tendrá, probablemente, alguna reacción entre el óxido de calcio y el hierro. Al mismo tiempo que empieza la descomposición del carbonato empieza también la reducción del óxido de hierro. Entonces no me parece a mí tan claro, tan evidente, que esta clase de producto no sea bueno.

Ese sería un punto. El segundo punto es que no estoy de acuerdo en su comparación entre alimentar un alto horno con pélets crudos y cargarlo con un producto que se compone de una estructura de carbonato envolviendo partículas de mineral de hierro. Perdóneme, pero es algo diferente, no se puede comparar.

S. Eketorp — Estoy de acuerdo con el presidente de que el señor Chang debiera tener más cuidado cuando habla de esto. Es un producto nuevo y nada tiene que ver con los pélets crudos. Sea que nos agrade o no, tenemos que confiar en los resultados de los ensayos, y por lo que entiendo no hay demasiada diferencia entre estos pélets aglomerados con carbonato que hemos conocido ahora y los que se están ensayando en Suecia. No me gusta ninguno de los dos, pero tal vez tengamos que vivir con ellos. Este producto se ha ensayado en un alto horno grande, o relativamente grande, con resultados bien corrientes. Nada de malo se detectó en la operación. El señor Chang indicó también que quería determinada cifra de Linder. ¿Por qué tendría que haber una determinada cifra de Linder? Se trata de un producto enteramente nuevo; podría tener una cifra de Linder espantosa y aún así podría comportarse bien. El ensayo Linder nos dará una cifra, pero que sea la adecuada para el alto horno nadie lo sabe en realidad. Podrían hacer falta cincuenta cifras de Linder para describir el alto horno, o cientos de ellas, por último. La cifra de Linder parece que da alguna indicación, pero para este producto nuevo, estoy seguro de que no se puede comparar en absoluto con el sinter, o los pélets normales, o con ninguna otra cosa. No tenemos ninguna idea de lo que debiera ser la cifra de Linder.

P. M. Bohomoletz — Volviendo al comentario del señor Eketorp de hace unos momentos, quiero decir que el cemento a que se refiere el profesor Eketorp no es rubro muy caro, porque probablemente será un subproducto de la escoria del alto horno, entonces la economía de este nuevo procedimiento mejoraría muchísimo. Señor Chang, ¿quiere responder?

M. C. Chang — Por supuesto que cualquier nuevo procedimiento se prueba finalmente en el arrabio. Al fin y al cabo, fabricamos hierro para ganar dinero. No quise com-

parar los pélets crudos con los pélets aglomerados por carbonatación, o con cemento. Mi intención fue advertir los inconvenientes de extrapolar los resultados de un horno pequeño a uno grande. El alto horno pequeño es útil para darnos indicaciones, pero debemos usar los resultados con cuidado.

Esta mañana, cuando el profesor Eketorp hablaba de la aceración continua, una de las quejas que él recibía es que el costo de capital del alto horno combinado con el costo de la coquería es enormemente elevado. Por esta razón debemos cargar el alto horno con buen material para que podamos obtener una elevada productividad, con bajo consumo de coque, para que no se malgaste el costo de esa gran inversión.

J. Miller — Señor presidente, yo quería felicitar a nuestros oradores porque esta es tal vez la única entre cien reuniones a las que he asistido, en que se habló de pélets y de sinter, sin que nadie se levantara a discutir, salvo el presidente para preguntar ¿cuál es mejor: pélets o sinter? Ahora hemos ascendido a nuevo nivel; ahora discutimos acerca de cuáles pélets son mejores que cuáles otros. Creo que vamos a encontrarnos en un círculo cerrado. Creo que el problema que enfrentamos tiene muchas soluciones, y si tratamos de reunirlos, creo que podemos decir que en un desarrollo siderúrgico que se realiza a una velocidad sin precedentes hay espacio para emplear pélets de cualquiera de las dos clases, sinter y mineral en trozos.

Si me permiten quisiera comentar algo acerca de la proporción de sinter, pélets y mineral en trozos a que nos estamos refiriendo. Vuelvo al aspecto de las magnitudes. Habría sido posible hacer a cada orador una serie de preguntas. Hubiéramos podido preguntar al señor Hornbaker algo relativo a la economía de su procedimiento, como se le preguntó. Al Dr. Chang se le preguntó algo acerca del hinchamiento. El señor Bragard también nos explicó algunas de las cosas que influyen en el hinchamiento, y estimo que esto fue muy conveniente. Hubiéramos podido preguntarle al señor Morán algo acerca de la bentonita. ¿Cuál es el nivel crítico de la adición de bentonita? El tenía algo así como 6,8 kilos por tonelada, algo más de 6 décimas por ciento. Yo creo que cuando se sube mucho más allá se llega a un nivel antieconómico que, si se sobrepasa demasiado, sencillamente ya no se pueden fabricar pélets y venderlos a precios que sean convenientes. Hubiera querido preguntar al señor Uchikawa si los pélets y el sinter han llegado al punto en que los podamos comparar o hacer una decisión de precio entre uno y otro. ¿Cómo afecta esto la normalización de los procedimientos, que se hace esencial cuando hablamos no sólo de altos hornos de 5.000 toneladas diarias? Hay un proyecto de alto horno japonés de 10.000 toneladas diarias. En estos hornos no se puede cambiar de un día a otro, de pélets a sinter; esos son los problemas que se nos presentan.

Hay que dar un vistazo a los pélets, al sinter y al mineral en trozos, porque pienso que se puede decir que hoy en día el 80 al 85% de todo el mineral de hierro está tratado, y creo que podemos decir que en dos o tres años, el Bureau of Mines dice que en 1970, el 100%, todo el mineral de hierro que se extraiga habrá pasado por algún tipo de proceso selectivo antes de llegar al alto horno. Se puede estudiar los antecedentes históricos de las proporciones de estos distintos materiales. Los llamaré mineral en trozos, mineral en trozos y harneado, pélets y finos de sinterización.

Se puede volver atrás históricamente, no hace falta volver atrás muy lejos, se puede hacer un modelo matemático, obtener una serie de instrucciones Fortran, ponerlas en un computador y se tendrán las cifras de lo que estamos hablando.

En 1965, tres años atrás, se consumieron 590 millones de toneladas de mineral de hierro con una ley promedio de 57-58% Fe. 590 millones de toneladas no de mineral extraído sino de mineral tratado o derivados del mineral bruto.

Bueno, si se pone esto en un computador, depende de la forma como cada uno piense, sus ecuaciones pueden ser algo diferentes de las de otro, pero en general se piensa que en 1970 habrá 700 millones de toneladas de derivados del mineral de hierro. En 1975, 825 millones de toneladas. En 1980, 932 millones de toneladas de mineral de hierro y sus derivados. Y esto se divide en el mineral en trozos, que sale de la parte superior de la criba, y los finos de sinterización y el material para pélets, que salen de la parte inferior de la criba, para simplificar la operación. Y nos encontramos con una serie de curvas que muestran que entre el año 65 y el 80, el mineral en trozos representaba en 1965 el 39% del total del mineral que entró en los hornos; en 1980 habrá bajado a 28%; el mineral en trozos bajará, ya está bajando. Los finos de sinterización, destinados a la fabricación de sinter, que en 1965 constituían el 54%, bajarán al 51%, casi ninguna diferencia. Y los pélets, que se fabrican principalmente en la mina o cerca de ella, subirán del 7% en 1965 a alrededor del 21% en 1980. Estas cifras salieron de un programa de computador, y fueron objeto de muchas discusiones entre las personas con quienes estoy trabajando, las que finalmente declararon: "estas son las cifras". Y encontramos que el primer análisis practicado por las personas que están haciendo planes para su utilización, como los japoneses, encontramos digo, en la primera aplicación, la primera verificación, que el computador se equivocó. Encontramos un consenso, una tendencia general hacia una carga de mineral de hierro compuesta de una mezcla de mineral en trozos y pélets, y sinter: 20% cada uno de mineral en trozos y pélets; y 60% de sinter. Esto resolvería el problema, si ustedes quieren, de encontrar un pélet que no sea autofundente y mezclarlo con un sinter que es autofundente, con lo que se llega a una carga autofundente.

Cito estas cifras por dos razones. Primero, porque no creo que todos nos demos cuenta de que en muy poco tiempo más de mil millones de toneladas de mineral de hierro pasarán de la mina al alto horno en el curso de un año. Y esta cifra sigue subiendo. Segundo, me parece que puede haber quedado la impresión hoy, en esta reunión, en que tuvimos un conferenciante que habló de sinter y tres que hablaron de pélets, que los pélets son la esperanza de la industria. Los pélets suben fuertemente, pero el sinter, que sigue en el 50% del total, sube a una velocidad aún mayor que la de los pélets. Por eso pienso, como dije, que hemos subido de curso: ya no hablamos de una preferencia entre pélets y sinter. Pero creo que debemos confesarlos a nosotros mismos, que se trata de un problema compuesto donde tanto los pélets como el sinter, además del mineral en trozos, mezclados todos pueden constituir la solución a estos mil millones de toneladas consumidas al año.

P. M. Bohomoletz — Me parece que cada uno de los oradores debe responder algo al señor Jack Miller.

M. C. Chang — Ojalá tuviera la posibilidad de predecir lo que va a ocurrir en el futuro. Sólo puedo decir que estoy de acuerdo con el señor Miller en que la carga del alto horno va a ser una mezcla de los tres productos. La cantidad relativa de cada uno en la carga la determina la economía: el precio de los pélets en relación con el precio de los finos de sinterización y el precio del mineral en trozos; de manera que me resulta muy difícil decir qué porcentaje va

a tener cada cual. Creo que eso depende estrictamente del precio. Si el precio está bien la gente comprará; si el precio no está bien, la gente no lo querrá.

R. W. Hornbaker — No puedo agregar gran cosa al comentario del Dr. Chang, salvo para estar de acuerdo con él en las proporciones de los materiales en la carga del alto horno y que la economía sin duda determinará la elección del material. Como se dijo muy claramente la industria siderúrgica quiere ganar dinero, y el trabajo de desarrollo de todos estos procedimientos apunta en esa dirección. No digo que nosotros tengamos alguna preferencia en cuanto a los materiales, y sólo quiero indicar que se está investigando en diversos campos.

P. M. Bohomoletz — Señor Uchikawa, ustedes son grandes consumidores, ¿qué opina usted de este intercambio de ideas?

S. Uchikawa — Estamos empleando sinter en este momento. La razón de que usemos sinter es porque el sinter es el material más barato disponible, pero si todos van a usar sinter, los finos de mineral que se ocupan para fabricarlo subirán de precio y entonces posiblemente ocupemos mayor proporción de mineral en trozos o pélets. El material que empleamos depende enteramente del nivel de los precios que obtenemos en determinados países. Siempre ocupamos el material más barato que podamos obtener.

P. M. Bohomoletz — Voy a decir una cosa: si ustedes continúan en esta forma, las minas de hierro se verán obligadas a triturar el mineral en trozos, y el costo de los finos va a subir. ¿Señor Astier?

J. Astier — Vuelvo al asunto que trató Jack Miller y quiero decir algunas palabras acerca de la distinción entre el sinter, los pélets, las distintas clases de pélets y el mineral de hierro. Desde mi punto de vista, sólo hay dos productos: uno es el sinter y el otro es el mineral de hierro. El sinter es en realidad una carga preparada y cuando digo sinter me refiero, por supuesto, al sinter básico o al sinter autofundente. Los pélets son desde luego un producto bastante complejo. Pueden haber pélets autofundentes, ha habido ensayos con ellos que se han publicado; pero, en general, los pélets son más bien lo que yo llamaría mineral de hierro, una especie de super mineral de hierro, ácido y vendido como mineral de hierro.

En cierto modo, me sentí sorprendido por el nuevo procedimiento que describió el señor Hornbaker, porque otra vez se trata de mineral de hierro que contiene carbonato, y esto me espanta un poco, porque en el último tiempo la principal tendencia en el alto horno ha sido la de suprimir todas las materias volátiles, especialmente el carbonato, que origina ciertos trastornos en el alto horno moderno. Sin duda, si se agrega una pequeña cantidad de carbonato, no será demasiado perjudicial, pero en todo caso, desde mi punto de vista, el punto de vista metalúrgico —posiblemente desde el punto de vista económico no tenga demasiada importancia— pero desde el punto de vista metalúrgico, aquello sería un defecto de este producto. En cierto modo, se está creando una nueva clase de mineral de hierro, que probablemente sea buena pero que es distinto del sinter e indudablemente distinto de los pélets autofundentes.

Sesión técnica - Tema 3

La acería eléctrica

Comentario introductorio.

La sesión sobre la acería eléctrica se verificó el Jueves 19 de Septiembre a partir de las 15 horas, bajo la Presidencia del Dr. Luis C. Silveyra, quien preside el directorio del Centro de Industriales Siderúrgicos, CIS, de Argentina. Como Presidente de Debates actuó el Ing. Charles Urruela, Director Gerente de Cía. Siderúrgica Venezolana, SIVENSA, S. A.

El primer trabajo presentado fué el del Ing. James W. Brown, de Union Carbide Corporation, EE. UU.: el trabajo se intitula "El horno eléctrico de arco, una nueva era en la producción de acero".

El señor James W. Brown estudió Ingeniería Civil en la Universidad Cornell, graduándose en 1956, e ingresando de inmediato a los servicios comerciales de Union Carbide Corporation. Después de ocupar diversos cargos ejecutivos en dichos servicios, cubriendo varias áreas de EE. UU., pasó a las oficinas generales de Union Carbide en Nueva York con la misión principal de promover el empleo del horno eléctrico de arco en siderurgia.

El Ing. Brown es socio de la American Society for Metals, de la Association of Iron and Steel Engineers, American Metallurgical Society y American Foundrymen's Society.

El Relator analizó las razones de orden económico y técnico que han conducido al horno a su actual grado de desarrollo en su país, destacando que muchas de ellas son aplicables al ámbito latinoamericano. Desde el punto de vista técnico las principales razones que considera el señor Brown son el diseño perfeccionado del horno y el aumento en la potencia de alimentación; la conocida flexibilidad del horno eléctrico, incluyendo su adaptabilidad a la colada continua y/o al vaciado a presión.

Desde otro punto de vista mencionó el costo relativamente bajo de inversión y de operación. El documento incluye información de costos de tipo general en comparación con el que se obtiene normalmente en otros procedimientos. Este tipo de información tiene el alcance que el autor precisó en el curso del debate que suscitó el documento.

En el debate las preguntas y/o los comentarios expuestos fueron contestados, algunos por el autor y otros por el señor Arnold Sleeper, Gerente de Tecnología del Horno Eléctrico de Union Carbide Corporation. Fuera del Presidente de debates de la sesión, Ing. Charles Urruela, participaron en el debate los señores John Ciotti de Lectromelt Corporation, EE. UU., Prof. Sven Eketorp del Royal Institute of Technology de Suecia, Ing. Edward Michaelis de Brassert Oxygen Technik, Suiza, y el Ing. Eduardo Héctor Ferri, de Cura Hnos., Argentina.

El trabajo presentado a continuación por su autor el Ing. H. Ottmar versó sobre "Aspectos metalúrgicos en la producción de aceros de alta calidad en hornos de arco voltaico de ultra alta potencia".

El Ingeniero H. Ottmar hizo sus estudios universitarios en la Universidad Técnica de Aquisgrán, terminándolos en 1949. Una vez recibido su título ingresó a la empresa siderúrgica Hoesch como ingeniero en entrenamiento, siendo nombrado ayudante del Jefe de la Acería Siemens Martin en 1950, pasando al mismo cargo en la acería Thomas

en 1953 y Jefe de Operaciones de la Wesfalenhütte en 1954. En 1961 fué nombrado jefe de la acería eléctrica Bous/Saar GmbH, donde desde 1962 ocupa el cargo de Ingeniero Jefe.

El documento describe los nuevos métodos de trabajo adoptados por la Röhrenwerke Bous/Saar para la producción de aceros finos, en horno de arco de ultra alta potencia. Este tipo de horno posee una gran velocidad de fusión y por tanto, el período de trabajo específicamente metalúrgico, es decir el de afino, pasa a tener una influencia considerable en la productividad, como también el tiempo perdido por detenciones de diversa índole.

El autor expone las exigencias de orden general de la técnica de ultra alta potencia durante el período de afino y describe las prácticas de trabajo adoptadas para obtener una descarbonización rápida; y la formación también rápida de escoria para elevar el ritmo de desfosforación y de desulfuración.

En el debate de este trabajo intervinieron el Prof. Sven Eketorp del Royal Institute y Technology, Suecia y el Ingeniero Miguel Saenz de la Universidad Nacional de Ingeniería, Perú. Su texto se reproduce más adelante.

La sesión finalizó con el trabajo intitulado "La utilización de minerales pre-reducidos en la elaboración de aceros en horno eléctrico" por los Ingenieros J. Antoine, N. Pasquel y J. Dumont-Fillon del IRSID, Francia y cuya presentación oral fué hecha por el Ing. Jacques Astier, graduado en la Escuela Central de Artes y Manufacturas y Director del mismo Instituto.

El señor Antoine es Ingeniero Civil de Minas, graduado en la Escuela de Minas de Nancy y los señores Pasquel y Dumont-Fillon hicieron sus estudios de Ingeniería en la Escuela Central de Artes y Manufacturas.

El trabajo en referencia se refiere a los estudios que inició el IRSID hace varios años a la fecha sobre la utilización en el horno eléctrico de productos fuertemente pre-reducidos. El documento expone la técnica de operación y analiza los resultados experimentales, desde los puntos de vista térmico y metalúrgico. La técnica de operación descansa en la fusión continua, para lo cual se mantiene entre los tres electrodos una acumulación sin fundir del producto prereducido, que es renovada permanentemente a través del centro de la bóveda.

Los autores advierten que las conclusiones a que han llegado son válidas sólo para cierta categoría de productos pre-reducidos y procesados según una práctica determinada y por tanto no se les puede asignar un valor absoluto, pues pueden verse afectados por los adelantos que se van incorporando a los hornos eléctricos de arco.

En el debate que siguió a la presentación del documento, intervinieron además del Director de Debates, los señores Juan Carlos O. Pehr de INCOTICA C.R.L. de Venezuela, Prof. Sven Eketorp del Royal Institute of Technology, Suecia, Jack Miller del Battelle Memorial Institute, EE. UU. y Paulo M. Bohomoletz de la Companhia Vale do Rio Doce, Brasil.

En el presente informe se incluye, más adelante, el texto completo de los documentos y una versión sucinta del debate.

El horno eléctrico de arco, una nueva era en la producción de acero

por J. W. Brown

Union Carbide Corporation

New York, N.Y., U.S.A.

INTRODUCCION

Es un placer y honor para mí hablar con ustedes hoy sobre producción de acero en el horno eléctrico de arco. Permítanme agradecerles el haberme dado la oportunidad de discutir este asunto que está muy cerca de mi corazón ante tan distinguida concurrencia y en un ambiente tan agradable.

Aunque hablemos distintos idiomas, hay un fuerte lazo que nos une, éste es que todos estamos asociados con el fascinante y desafiante negocio de producir fierro y acero. Como muchos de ustedes lo saben, el uso de horno eléctrico de arco en esta dinámica industria ha tenido un crecimiento mundial sin precedentes en los últimos años, tendencia que ha configurado una nueva era en la manufactura de acero, la que se espera continúe en el siglo 21. Muchas de las razones económicas y técnicas que han llevado los hornos eléctricos a su posición actual de prominencia, en los Estados Unidos y en otras partes del mundo, existen aquí en América Latina en mayor grado. Creo que algunas de las lecciones que hemos aprendido y algunas de las experiencias que hemos tenido, pueden ser no sólo de interés, sino benéficas para ustedes. Hoy por lo tanto, me gustaría compartir algunos de estos pensamientos con ustedes, y hablar brevemente sobre algunas de las razones que existen para el asombroso resurgimiento de este instrumento de fundición que ha estado con nosotros por muchos años.

Al bosquejar su historia vemos que hasta la Segunda Guerra Mundial, el horno eléctrico de arco era considerado como un procedimiento de manufactura de acero relativamente costoso y de poca producción. Muchos creían que sólo era aplicable para aquellos usos para los cuales fue desarrollado originalmente: la fabricación de aceros inoxidables, aleados y aceros especiales. Las condiciones económicas durante la guerra, con su inmensa demanda, impulsieron una carga pesada en la capacidad de producción y el horno eléctrico de arco pronto se comenzó a usar hasta para fabricar aceros al carbono. Para sorpresa de muchos, se encontró que era un procedimiento económico y encontró mayor aceptación después de la guerra, principalmente por su economía y por el hecho de que era una técnica de fundición extremadamente versátil, flexible y capaz de adaptarse rápidamente a gran variedad de condiciones.

Durante los años 1950-59, las instalaciones de hornos eléctricos de arco para aceros al carbono y aceros especiales continuaron creciendo en número; a la fecha podemos decir que estamos en la nueva era de manufactura de acero que se mencionó anteriormente. Veamos la Figura 1. La línea punteada es el crecimiento proyectado de la producción de acero en el horno eléctrico de arco, de acuerdo con el pronóstico de los expertos. Proyectar es simplemente el

arte de extender las pautas o hechos del pasado hacia el futuro y estas prácticas son inequívocas. Nada menos que la altamente respetada autoridad del Instituto Battelle Memorial ha proyectado que los hornos eléctricos de arco fabricarán el 50% del acero en los Estados Unidos en 1990. Por ejemplo, se sabe que hoy la producción de piezas de fierro fundido en hornos eléctricos de arco está creciendo a un ritmo anual de 28% y la producción de piezas de acero fundido a un nivel de 7.6% anual. En América Latina se produce alrededor del 23% del acero en hornos eléctricos de arco. Todos los hechos que hemos podido observar indican que a medida que crezca la industria del hierro y del acero en América Latina, para mantenerse ésta al ritmo de las economías de rápido desarrollo de los varios países productores de acero, el horno eléctrico de arco debe recibir cada vez mayor atención como el instrumento para fundir capaz de hacer el trabajo dentro de los límites del capital disponible.

¿POR QUE EL HORNO ELECTRICO DE ARCO?

Las mismas razones que han colocado al horno eléctrico de arco en su actual posición mundial de competencia con altos hornos, hornos de hogar abierto y cubilote como una herramienta para producir metal líquido en grandes toneladas se aplican aquí en América Latina. ¿Cuáles son algunas de estas razones? ¿Porqué este reconocimiento y porqué se ha extendido el uso del procedimiento de horno eléctrico de arco? Hay muchos factores involucrados, los más importantes incluyen:

1. Diseño perfeccionado del horno.
2. Aumento en la potencia de alimentación.
3. Costos de operación bajos y poco capital.
4. Flexibilidad del proceso, en cuanto a selección de materia prima, operación, y producto que se manufacture.
5. Adaptabilidad a la colada continua y/o vaciados a presión.

Diseño del Horno.— Algunas de las mejoras de mayor trascendencia en el diseño del horno incluyen: 1) carga por arriba, lo cual permite que la carga del horno se haga en aproximadamente cinco minutos con un solo movimiento, en vez del proceso más ó menos laborioso y tardío de cargar por la puerta; ahorros importantes tanto en tiempo como en dinero en un taller consciente de la producción; 2) controles eléctricos perfeccionados, que aumentan la entrada de energía por unidad de tiempo y por lo tanto hacen que el proceso sea más eficiente desde el punto de vista térmico; 3) cables enfriadores de agua, dándole al fabricante de este equipo una mayor libertad en la geometría de la delta

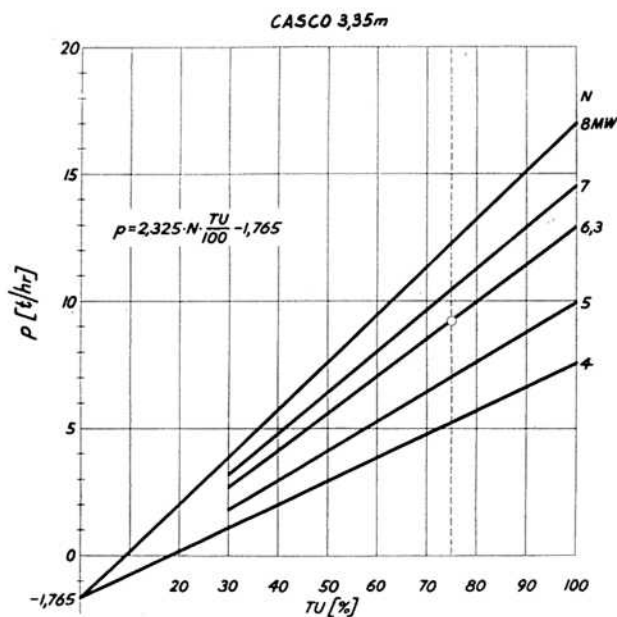


FIGURA NUM. 2

El término $A \cdot TU$ representa la productividad teórica sin pérdidas térmicas en el horno. El valor teórico de 0.378 horas-megawatt por cada tonelada de acero a temperaturas de vaciado es una cifra razonablemente representativa. El término B describe la pérdida de productividad que resulta de las pérdidas térmicas. El efecto del calor de combustión es prácticamente cancelado por el rendimiento. El grado de validez de esta fórmula es obviamente limitado, pues no puede esperarse que la proporcionalidad de N a TU se aplique en rangos demasiado amplios. Dentro de rangos limitados, la productividad es proporcional al promedio de energía alimentada (N) y el tiempo de utilización (TU) así como la eficiencia eléctrica (Y_{el}). Esta última depende de la corriente del arco o de la longitud del arco de acuerdo con las características eléctricas del horno. Las eficiencias relativamente altas que resultan con arcos largos, sin embargo, aumentan las pérdidas térmicas durante los períodos de refinación y, por lo tanto, afectan al término B.

Los resultados de trabajos de pruebas en un horno de 3.35 metros de diámetro y 19.8 toneladas al vaciar la carga de Figura 2, mostraron una productividad de aproximadamente 9 toneladas por hora a 6.3 MW un nivel de energía promedio y 77% de utilización del tiempo. Esta prueba al extenderse durante un período de dos meses, indicó que una mejoría en 1% del tiempo de utilización resultaba en una mejoría de productividad de 0.27 de tonelada por hora. La figura muestra los resultados para niveles de energía de 4 a 8 MW.

Al interpretar la figura vemos que el operador de horno debe alimentar energía eléctrica al horno al nivel máximo con las mínimas interrupciones para obtener metal caliente al costo más bajo posible. Por ejemplo, a una carga de energía eléctrica de 8 MW promedio y con un factor de utilización de tiempo de 75%, el horno produciría aproximadamente 12.5 toneladas por hora. Sin embargo, si el tiempo de utilización es únicamente el 50%, la producti-

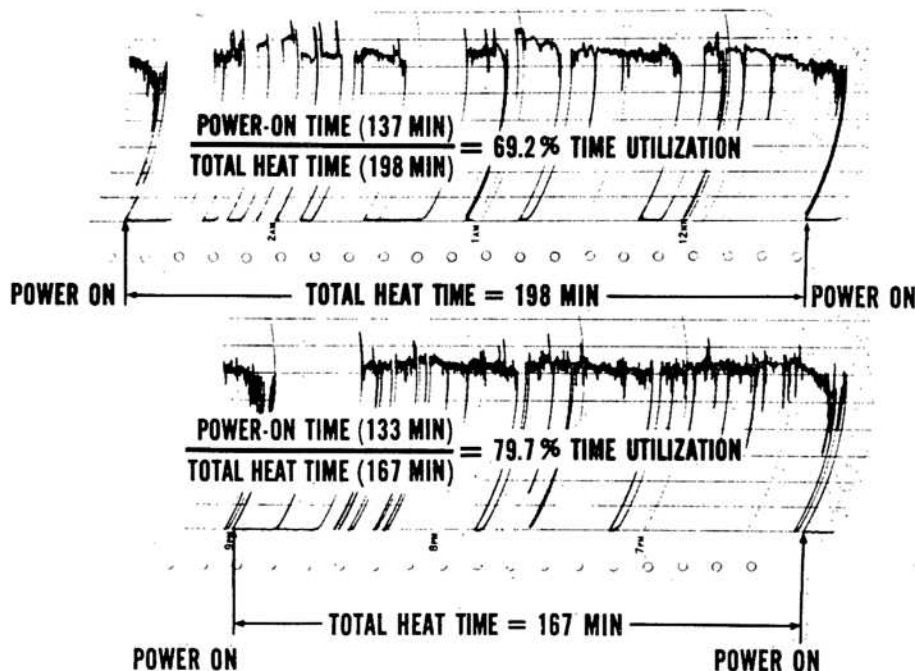


FIGURE NO. 3

Figura 3 — Comparación de los registros de consumo (kW)
 Power-on time (137 Min) = tiempo conectado (137 Min); Total heat time (198 Min) = Tiempo total hornada (198 Min); 69,2% Time utilization = 69,2% Tiempo de utilización; Power on = Horno conectado.

vidad baja sólo a 7.5 toneladas por hora. Desde otro punto de vista, si el tiempo utilizado de 75% se mantiene, pero el horno se opera con un promedio de energía de únicamente 5 MW, se obtendrá el mismo efecto de productividad aproximadamente.

La figura 3 muestra el efecto del tiempo de utilización partiendo del diagrama de un medidor de potencia con inscriptor correspondiente a la operación de horno. El promedio de alimentación de energía eléctrica es adecuado, pero el período en que el horno está desconectado en el ejemplo superior reduce el tiempo de utilización en un 10%, lo que afecta adversamente la productividad del horno. Si no se tiene disponible equipo medidor de energía, bastará con colocar dos relojes, uno en la fuente de energía midiendo el tiempo que se tiene conectado el horno y el otro midiendo el tiempo transcurrido por períodos suficientemente largos. En operaciones con una sola vaciada de escoria, la experiencia ha mostrado que si el factor de utilización del tiempo es mucho más de 65% deberá dedicarse especial atención en la reducción del tiempo perdido.

El hecho de que la industria metalúrgica conociera y aceptara el concepto de ultra-alta-potencia ha llevado a un proceso más económico disminuyendo costos de operación como mano de obra, consumo de energía, y consumo de refractarios y de electrodos. Además, al aumentar la productividad de un horno, el capital invertido por tonelada anual de metal ha disminuido, reduciendo por tanto los cargos fijos y acortando los plazos de recuperación de la inversión.

Debe hacerse notar que la disponibilidad de energía eléctrica a precios razonables es muy importante para el funcionamiento económico de la operación del horno de arco usando el concepto de ultra-alta-potencia. Aquellos fabricantes de acero en los Estados Unidos, y otras partes, que están usando con éxito la técnica de ultra-alta-potencia, lo están haciendo con la cooperación de las compañías de energía eléctrica que están en posición de abastecer energía eléctrica a precios relativamente favorables y sin cargos demasiado altos por demanda. En muchas áreas, América Latina entre ellas, el desarrollo económico industrial trae consigo la instalación de unidades para la producción de energía eléctrica. Un factor importante para el futuro es el adelanto técnico que se está logrando en la generación de energía eléctrica de fuentes nucleares. Las grandes plantas de energía atómica y la introducción del reactor de generación rápida están aportando mejoras considerables en la eficiencia del proceso de conversión.

La cantidad de combustible que se requiere para producir un kilowatt hora de energía eléctrica continúa disminuyendo; la generación nuclear de seguro es la solución a los problemas de energía en muchas partes del mundo. Se ha informado que las plantas nucleares requieren menos capital y que los costos de conversión son más bajos que en las plantas convencionales. Esta es una razón por la cual se están construyendo grandes plantas que permiten producir el KWH por 2-3 Mills.

Costos de Capital y de Operación.— Al enfrentarnos con la siempre creciente competencia de otros materiales, los plásticos, por ejemplo, y con mayores costos de mano de obra, de equipo y de materias primas, la industria metalúrgica se ve forzada a encontrar métodos para mejorar la calidad de sus productos y al mismo tiempo disminuir sus costos de operación. En muchas áreas urbanas, la necesidad de evitar la contaminación del aire impone una carga más. Todos estos factores se combinan para crear un interés adicional en el horno eléctrico de arco de parte de las industrias de fundición y de acero.

A medida que hay mas escasez de dinero y los intereses suben, el costo del capital se hace aún más importante. Con mucha frecuencia, las compañías descuidan el efecto que el capital invertido tiene en el costo del metal en el canal de descarga, resultando en cálculos inexactos del costo de producción y plazos de recuperación de inversión del equipo nuevo. Algunas empresas, no entendiendo la importancia de gastos fijos tales como impuestos, depreciación e

intereses, se han literalmente eliminado ellas mismas del negocio al modernizar su equipo. También debe recordarse que los costos fijos varían con los niveles de producción. A medida que los negocios bajan y la producción disminuye, los costos fijos por tonelada aumentarán. Cualquier evaluación de costo, por lo tanto, debe basarse en costos *completos*, incluyendo gastos fijos.

La habilidad del horno eléctrico de arco moderno para fundir rápidamente toda clase de materias primas, chatarra fría, metal caliente, y mineral pre-reducido, sin la necesidad de instalaciones costosas que le sostengan, como altos hornos y plantas de coquización, da por resultado una inversión de capital relativamente baja por tonelada anual de capacidad. La regla básica para instalaciones de acero es \$ 25 dólares por tonelada anual de capacidad hasta 1.5 millones de toneladas. Un ejemplo del desglose del total por invertirse se muestra en la Figura 4. Los costos aproximados del horno de arco y el transformador se muestran en la Figura 5. Con ultra-alta-potencia y con un solo vaciado de escoria, la colada de dos horas es típica para hornos hasta de 165 toneladas. Por ejemplo, una producción de 12 a 13 toneladas por hora requeriría un horno de 25 toneladas, que costaría aproximadamente US\$ 300,000 con transformador, más 40% para su instalación.

Debe mencionarse que para toda planta de acero de hasta dos millones de toneladas por año, el horno eléctrico de arco con carga convencional de chatarra fría es competitivo con instalaciones de convertidores al oxígeno. El proceso del convertidor al oxígeno, sin embargo, depende del arrabio caliente de un alto horno, y el costo de la instalación total añade otros US\$ 35 a 40 por tonelada-año de acero. Al tratarse de costos de operación, los metálicos representan el renglón más grande en la producción con hornos eléctricos de arco, correspondiéndole de 60 a 70% del costo del metal caliente en el canal de descarga. Al planear una modernización, expansión, o nuevas instalaciones, por lo tanto, debe ponerse atención especial a los metálicos.

Una de las ventajas del horno eléctrico de arco es la facilidad de poder cargarse en un 100% con chatarra fría, metal líquido, mineral en forma de pelets pre-reducidos u otras combinaciones. Debido a que puede refinar, el horno eléctrico de arco puede fundir todos los tamaños, grados y composiciones de chatarra con un mínimo de preparación.

Durante muchos años, las compañías siderúrgicas han investigado la posibilidad de usar arrabio líquido en un horno eléctrico de arco, con distintos grados de éxito. La instalación en 1966 de dos hornos de arco eléctrico de 160 toneladas en la Armco Steel Corp. con una carga de 75% de metal caliente motivó que se prestara nueva atención sobre esta idea. El éxito en la operación de Armco se comprueba por el hecho que la compañía ha comprado un horno adicional que se planea esté produciendo en 1969.

El efecto del convertidor básico al oxígeno en el balance de arrabio líquido-chatarra recién se está tomando en cuenta. La tecnología actual indica que el convertidor básico al oxígeno está económicamente limitado a un máximo de 30% de chatarra fría, y que la chatarra debe ser de buena calidad. Pero sin tomar en cuenta la disponibilidad de la chatarra y su precio, la aparición de pelets pre-reducidos con un 93 a 96% de contenido de hierro tendrá un efecto muy significativo en la continuidad del uso del horno eléctrico de arco como el único equipo de fusión que puede aceptar toda clase de materia prima.

Recientemente ha habido un gran interés de cargar continuamente los hornos eléctricos de arco con pelets pre-reducidos. Muchos de los fabricantes de acero se han preguntado para qué usar un alto horno si el material es 93 a 96% hierro. ¿Porqué no fabricar el acero directamente? El trabajo de desarrollo de la aplicación de pelets en el horno eléctrico de arco en proporción de 80 a 100% de carga ha tenido tanto éxito que dos compañías —una en los Estados Unidos y otra en Nueva Zelanda— están actualmente construyendo plantas de acero totalmente integradas en las cuales los hornos de arco serán alimentados continuamente cargados con pelets; el metal pasará a una instalación de colada continua o de vaciado a presión.

DISTRIBUCION TIPICA DEL CAPITAL INVERTIDO EN HORNO DE ARCO

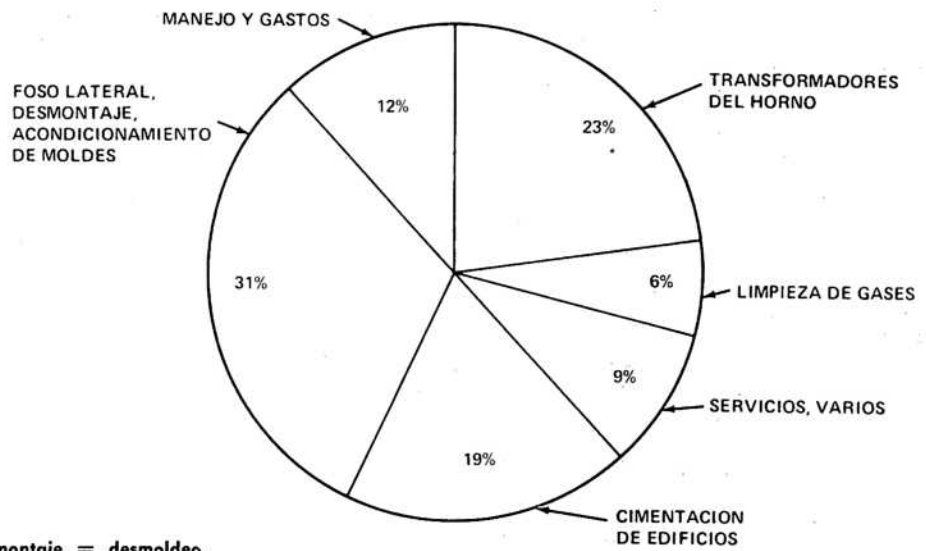


Figura 4

Foso lateral = foso de colada; desmontaje = desmoldeo.

FIGURA NUM. 4

CALCULO DEL COSTO DE CAPITAL EN HORNOS DE ARCO DIRECTO (INCLUSO TRANSFORMADORES Y CONTROLES)

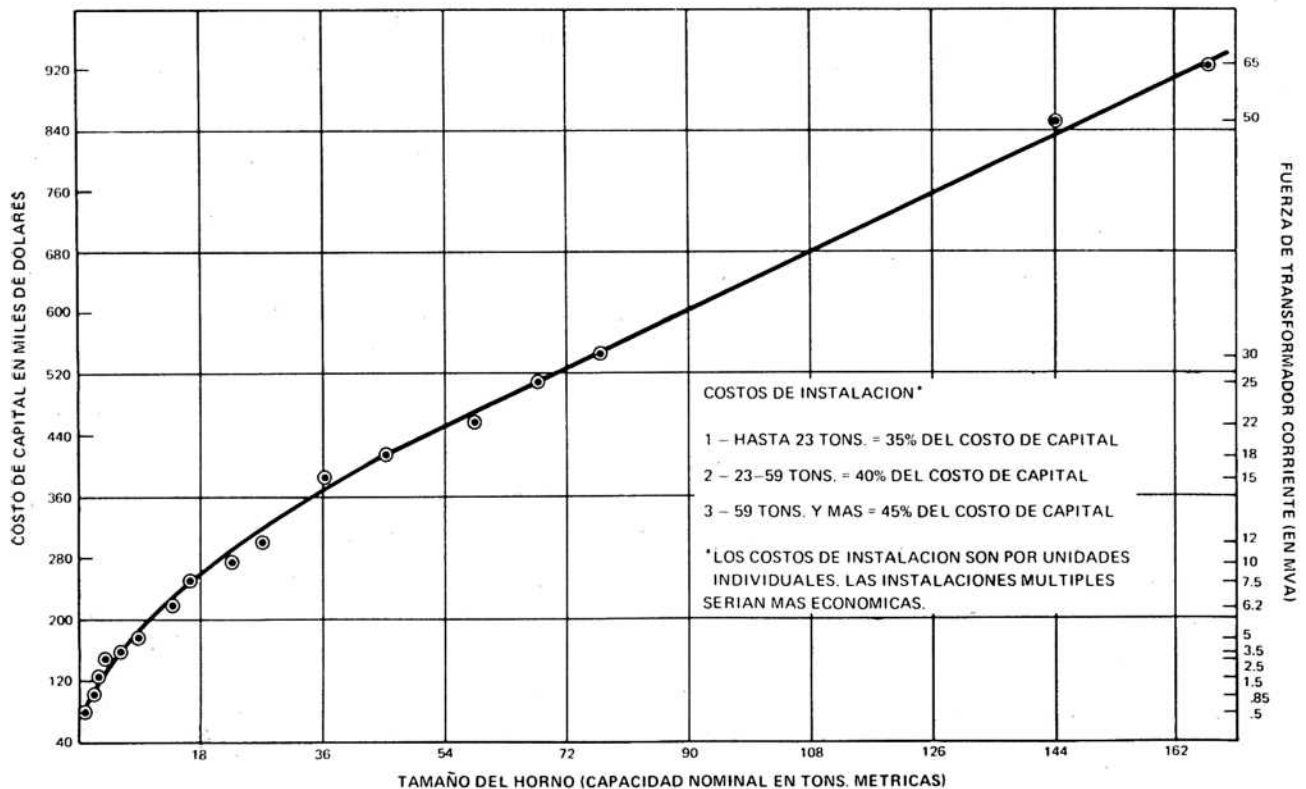


FIGURA NUM. 5

Estimaciones preliminares muestran que la manufactura de acero con pelets metalizados en un horno eléctrico de arco necesitará una inversión 40% menor y los costos de operación serán hasta 50% más bajos. La característica del horno eléctrico de arco de usar chatarra y pelets en cualquiera proporción significa que pueden usarse en el horno grados inferiores de chatarra para determinada calidad de metal a través de dilución, ya que los pelets no están contaminados.

La consideración final en la evaluación económica de los metálicos es la de su rendimiento, esto es la cantidad de metal vaciado comparado con la cantidad de metal cargado, en el caso del hierro, y toneladas de lingotes buenos producidos en relación a toneladas de metal cargado, en el caso de acero. A continuación se indican los rendimientos representativos de distintas instalaciones en la producción de hierro y acero.

Hierro	
Cubilote	93-94%
Horno de Inducción	98-99%
Horno Eléctrico de Arco	96-97%
Acero	
Horno de hogar abierto	87-91%
Convertidor básico al oxígeno	85-90%
Horno Eléctrico de Arco	93-94%

Los cuadros 6, 7 y 8 reproducen la comparación de costos en las tres industrias básicas: una fundición de hierro, una fundición de acero y un taller de lingotes. Estos ejemplos se basan en las condiciones en Estados Unidos. La Figura 9 es la distribución de los costos de operación correspondientes a la producción de acero al carbono en un horno eléctrico de arco, y sólo podrá ser usada como guía pues los factores como metálicos, energía eléctrica y mano de obra varían con la región.

Flexibilidad.— Uno de los factores sobresalientes del horno eléctrico de arco que ha contribuido a su uso creciente es su flexibilidad en la selección de materia prima, su operación y el tipo de producto que puede producir. De nuevo debe dársele énfasis a los requerimientos del futuro. ¿Qué materias primas habrá disponibles? ¿qué grados de metal necesitará la industria — hierro ó acero? ¿Tendrá una misma instalación que producir piezas tanto de hierro como de acero? ¿Cómo afectan a la economía del proceso las operaciones intermitentes ó reducidas? Estas y muchas otras preguntas deben de contestarse al tomar decisiones sobre inversión del capital.

Cuadro 6
FUNDICION DE ACERO
COMPARACION DE COSTOS DE PRODUCCION

Item	FUNDICION A (1)		FUNDICION B (1)	
	Arco	Horno Siemens-Martin	Arco	Horno Siemens-Martin
METALICOS (2)	\$29.56	\$36.82	\$36.81	\$44.91
COSTO EN EXCESO (3)	19.80	21.62	17.93	27.45
GASTOS FIJOS (4)	1.65	—	2.09	—
TOTAL	\$51.01	\$58.44	\$56.83	\$72.36

NOTA: (1) FUNDICION A — 80,000 Tons. por año.
FUNDICION B — 32,000 Tons. por año.
(2) Metálicos incluye materiales de desecho, aleaciones y agentes fundentes. La ventaja del horno de arco refleja su capacidad para refinar y aprovechar chatarra de diversos grados y tamaños.
(3) Costo en Exceso incluye trabajo, refractarios, combustible, etc.
(4) Gastos Fijos refleja la inversión de capital. La razón de no haber cargo en el caso del Horno Siemens-Martin es que en los ejemplos usados la instalación Siemens-Martin se canceló.

Cuadro 7
FUNDICION DE HIERRO
COMPARACION DE COSTOS DE PRODUCCION

Item	FUNDICION A (1)		FUNDICION B (1)	
	Arco	Cubilote	Arco	Cubilote
METALICOS (2)	\$29.87	\$47.68	\$31.46	\$40.29
ADITIVOS	5.32	4.78	4.88	3.70
COSTO EN EXCESO (3)	11.71	17.21	11.17	8.45
GASTOS FIJOS (4)	1.28	—	1.09	1.47
TOTAL	\$48.18	\$69.67	\$48.60	\$53.91

NOTA: (1) FUNDICION A — 6-7 Tons./hora.
FUNDICION B — 25-30 Tons./hora.
(2) Metálicos representa gastos de chatarra y refleja la capacidad del horno de arco para aprovechar chatarra de varios grados y tamaños con un minimum de preparación.
(3) Costo en Exceso incluye items como trabajo, refractarios, combustible, etc.
(4) Gastos Fijos refleja la inversión de capital. La razón de no haber cargo en el caso del cubilote en la Fundición A es que en el ejemplo usado esta unidad estaba totalmente amortizada.

Cuadro 8
ACERO EN LINGOTES
COMPARACION DE COSTOS DE PRODUCCION

Item	Arco	Horno Siemens-Martin	Convertidor O ₂
METALICOS (2)	\$30.83	\$40.48	\$44.11
ADITIVOS	1.40	1.64	1.40
COSTO EN EXCESO (3)	20.42	22.97	14.96
GASTOS FIJOS (4)	2.97	6.05	2.61
	\$55.62	\$71.14	\$63.08

NOTA: (1) Para producción de 500,000 tons./año.
(2) Metálicos representa gastos de chatarra y refleja la capacidad del horno de arco para aprovechar chatarra de varios grados y tamaños con un minimum de preparación.
(3) Costo en Exceso incluye items como trabajo, refractarios, combustible, etc.
(4) Gastos Fijos refleja la inversión de capital.

Además de poder fundir toda clase de grados de hierro ó acero con un máximo de flexibilidad en la selección de materias primas, el horno eléctrico de arco tiene la característica de producir metal continua o intermitentemente para llenar las demandas siempre cambiantes en el ciclo económico, o de poder coordinar su operación de acuerdo con las exigencias estrictas de programación de una instalación, sea colada continua o vaciado a presión, y esto puede obtenerse sin sacrificar la economía de la operación. Esta es una de las razones principales por las cuales el horno eléctrico de arco ha sido aceptado abiertamente por las fundiciones y acerías pequeñas no integradas. Al observar las instalaciones de colada continua ó vaciado a presión en todo el mundo vemos que los hornos eléctricos de arco abastecen el metal fundido en aproximadamente 90% de los casos. La razón de ésto es la facilidad de programar las coladas, la facilidad de hacer ajustes en la colada, y la habilidad de mantener en buenas condiciones y en forma económica cuando ocurren demoras en las instalaciones de colada.

En consecuencia, el horno eléctrico de arco, por todas las razones que he mencionado hoy y muchas que no se indicaron, está destinado a continuar siendo de importancia primordial en la expansión y modernización de las instalaciones de acero en el mundo. En conjunto con otras innova-

ciones tecnológicas, está llegando rápidamente a la meta de que el sistema de "flujo continuo de metal" sea una realidad a medida que la industria avance más en una nueva era en la manufactura del acero.

DISTRIBUCION DE COSTOS DE OPERACION EN EL HORNO DE ARCO

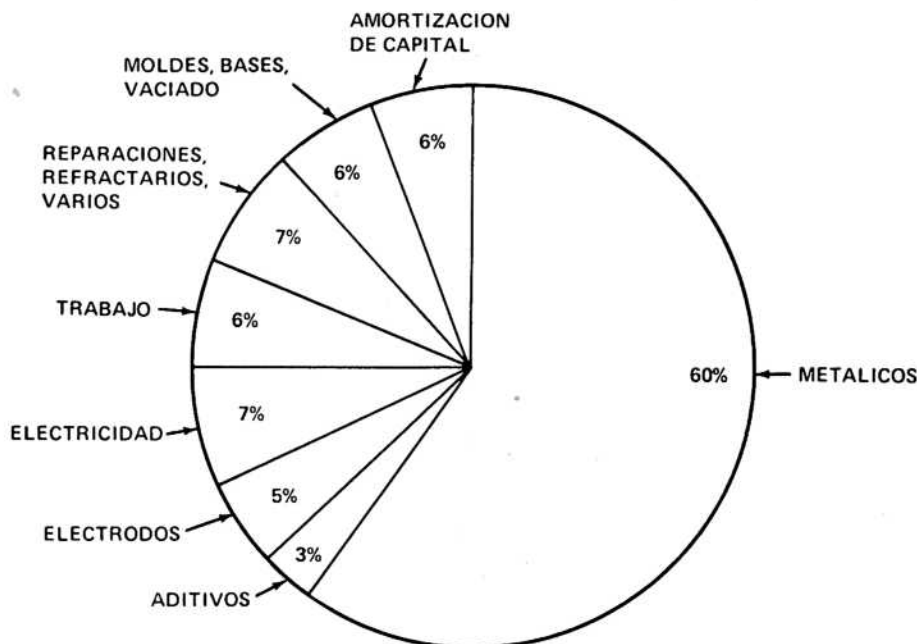


FIGURA NUM. 9

BIBLIOGRAFIA

- 1.—C. A. Lovgren — Forces of Economic Change. Steel U. S. A. 97th Annual Meeting Metallurgical Society, AIME, February 27, 1968.
- 2.—J. W. Brown — Why do It. Electrically Why Electric Arc Melting? National Industrial Heating Conference, February 1968.
- 3.—J. F. Skelly and Leslie A. Chermely — Economics and Productivity in Tomorrow's Arc Furnace, Journal of Metals, June 1967.
- 4.—W. E. Schwabe — Utilization of Power in Electric Arc Furnaces, Carbon and Graphite News, Volume 5 Nº 2, 1958.

- 5.—W. E. Schwabe — Efficiency Improvement in Electric Steel Furnace Operation, Paper Nº 220, presented at the IV International Congress on Electro Heat, Stressa, Italy, May 1959.
- 6.—W. H. Dailey — Steelmaking with Iron Pellets, 27th Ironmaking Conference Metallurgical Society AIME, April 2, 1968.
- 7.—J. W. Brown — Why the Electric Arc Furnace? Modern Castings, March 1966.
- 8.—J. G. Sibakin — Utilization of SL/RN Reduced Pellets in Electric Arc Furnaces, 25th Electric Furnace Conference, 1967.
- 9.—W. M. Rankin — Electric Furnace Steel Production Houston Works, Armco Steel Corporation, 25th Electric Furnace Conference, 1967.

Aspectos metalúrgicos en la producción de aceros de alta calidad en hornos de arco voltaico de ultra alta potencia

Por: H. Ottmar,
Röhrenwerke Bous/Saar

Es conocido, ya sea por la literatura o a través de conferencias, el desarrollo de la producción mundial de acero y la de acero al horno eléctrico de los últimos años.

El primer gráfico¹ muestra las cifras correspondientes a los años 1957 al 66. La representación simplificada a la escala logarítmica permite una comparación fácil del aumento de la producción por la inclinación de las curvas, incluso en el caso de capacidades de producción distintas.

Expresado en toneladas métricas podrán observar:

1. La producción mundial de acero bruto.
2. La producción mundial de acero al horno eléctrico.
3. La producción de acero al horno eléctrico de los Estados Unidos.
4. La producción de acero al horno eléctrico de la República Federal de Alemania.

En tanto que la producción mundial muestra un crecimiento de 58% en el período de tiempo considerado, la producción mundial de acero al horno eléctrico aumentó en 141%, es decir, más o menos 2,5 veces más rápidamente.

Encontramos relaciones similares si observamos las cifras correspondientes a los Estados Unidos y la República Federal de Alemania.

Los antecedentes para este marcado aumento de la producción de acero al horno eléctrico pueden atribuirse en parte a las numerosas ventajas del procedimiento en cuanto a costos de instalación y método de explotación. Pero en los últimos años se presenta un nuevo desarrollo en este procedimiento que va a influir de manera esencial la capacidad competitiva aún en la elaboración de aceros comunes.

Este desarrollo que se ha dado a conocer en los Estados Unidos bajo la denominación de horno-UHP (Ultra High Power), se realizó y dió a conocer simultáneamente también en la República Federal de Alemania con el nombre de horno de arco voltaico de alta potencia 1,2.

Seguramente son conocidos de Uds. los hornos de la "Northwestern Steel and Wire Company" como representantes típicos de este procedimiento. Resultados parecidos a éstos se obtienen en el Röhrenwerk Bous con un horno de 5,18 m. de diámetro y una carga de cerca de 60 tons. (métricas). La comparación de las características técnicas de los hornos aparecen en la tabla 1.

Los resultados de estos hornos, los cuales por lo menos en un comienzo produjeron una sensación espectacular tanto en los Estados Unidos como en Alemania,

muestran sin embargo ahora, después de un período prolongado de explotación, que pueden lograrse en forma continua y normal las mismas altas capacidades de fusión.

Exigencias generales que demanda la técnica de ultra alta potencia durante el período de afino.

Los altos rendimientos de fusión de la técnica-UHP exigen bajo el aspecto eléctrico dimensiones de los transformadores con cargas de 500 a 600 KVA/t. de carga, para lograr un tiempo de fusión de más o menos 1 hora. Con tales velocidades de fusión pasan a tener importancia considerable en la productividad del horno eléctrico de arco, el período de trabajo propiamente metalúrgico y también los tiempos en operación y las detenciones. Esto implica que para asegurar las ventajas de este tipo de hornos de alto rendimiento, hay que economizar todo el tiempo que sea posible, incluso en la realización del trabajo metalúrgico.

Antes de exponer aquí nuestras formas de trabajo largamente comprobadas en parte, caracterizaremos con algunas indicaciones varias de las condiciones a las que está sujeto el acero durante y después de la laminación.

Todo el acero producido por el Röhrenwerk Bous se emplea en la fabricación de tubos sin costura según procedimiento Mannesmann tradicional, es decir, en laminadores oblicuos y "de paso de peregrino", para tubos de 38 hasta 368 mm de diámetro.

El programa de producción de la empresa engloba todas las calidades usuales para este tipo de producto, incluyendo tubos resistentes al calor para calderas y tubos de distintos espesores de pared para cualquier tipo de transformación posterior.

Para satisfacer las exigencias que surgen en este proceso de producción, es necesario alcanzar incluso para los simples aceros al carbono, un alto grado de pureza en la escoria. En el análisis de fusión se limita el contenido de azufre a un máximo de 0,025% junto a los respectivos valores de C, Si y Mn. Los contenidos de fósforo tampoco deben sobrepasar 0,025%.

En la elaboración de los aceros más sencillos, que no están sometidos a exigencias especiales, puede llevarse a cabo posiblemente sin problemas una reducción en el tiempo de afino disminuyendo la eliminación del carbono. Sin embargo, si existen exigencias mayores en cuanto a composición química del acero, grado de pureza de la escoria, cantidad de gases disueltos en el acero en la ap-

TABLA 1

Características de los hornos:

Röhrenwerke Bous/Saar GmbH y
Northwestern Steel and Wire Company,
Sterling, Illinois, U.S.A.

		RWB	Northwestern Steel and Wire Company
Diámetro de la cuba	m	5,2	6,7
Peso de la carga	t	62	150
Transformador	MVA	18 + 10% hasta mayo 1967, des- pués 28,5 + 20%	80
Voltaje secundario	V	460 a 120	
Diámetro de electrodos	mm	500	
Consumo de energía	kWh/t	490	
	fl		
Consumo de electrodos	kg/t	5,5	
	fl		

titud para su conformación posterior, entonces hay que planear cuidadosamente el tratamiento metalúrgico de las hornadas. Para ello es necesario desarrollar nuevos métodos y prácticas de trabajo para obtener el tratamiento metalúrgico correcto en tiempos más cortos. En el curso de su desarrollo ha sido posible obtener tiempos de colada a colada de 2 horas aproximadamente, para aceros al carbono aún en los llamados a satisfacer grandes exigencias de calidad y 2,5-2,7 horas para aceros aleados.

La preparación para obtener un tiempo de afino lo más reducido posible debería empezar en el parque de chatarra. Hay que procurar, junto a la clasificación de la chatarra necesaria para una buena velocidad de fusión, una composición química suficiente de la carga. El cumplimiento de este último requisito permite obtener de manera racional y uniforme el trabajo metalúrgico requerido.

Formas de trabajo nuevas para lograr una rápida formación de escoria y un corto tiempo de afino.

Para la elaboración de buenos aceros es inevitable un determinado afino o trabajo metalúrgico. Naturalmente que en cuanto a la amplitud de este trabajo existen las opiniones más diversas. La descarburación de las hornadas por medio de escorias metalúrgicamente activas es común a todos los métodos. (Aquí se expondrá solamente el procedimiento básico). La reacción de descarburación forma gases que provocan la ebullición del baño, la que a su vez favorece numerosas reacciones metalúrgicas. Por ejemplo, la ebullición intensa posibilita obtener dentro de plazos cortos la necesaria compensación térmica en el baño. Al mismo tiempo si la reacción de descarburación es suficientemente intensa, se evita la absorción de H_2 contenido en los materiales necesarios para formar la escoria y es posible la eliminación de ésta por rebalse.

Las funciones recién expuestas exigen una escoria activa, disponible en el momento preciso. Una formación pronta de escoria se logra cargando cal junto con la chatarra. Junto a algunas ventajas, entre las que hay que contar ante todo una temprana desfosforación, esta forma de trabajo va unida también a desventajas. Por ejemplo, las reacciones de la escoria que aparezcan antes de tiempo pueden provocar que ésta envuelva a la chatarra

ubicada junto al borde aislándola y dificultando su fusión completa. En casos aislados la cal cargada sobre la solera puede generar reacciones que demoren la ebullición, especialmente cuando se cargan, al mismo tiempo, materiales portadores de C.

Describiremos un nuevo método de formación de escorias, sin entrar a discutir, por el momento, el efecto de las escorias sobre los contenidos de P y S.

En 1960 la Hoesch Wesfalenhütte, Dortmund, desarrolló un procedimiento para formación de escoria con cal fina, que se describió en la literatura respectiva.³ La formación de una nueva escoria, en especial si se carga cal en trozos grandes, disminuye el período efectivo de trabajo de la escoria debido al tiempo necesario para fundir la cal. Si se utiliza cal en polvo cuyo análisis y granulometría aparecen en la tabla 2, la formación de nuevas escorias prácticamente no ocupa tiempo. Con una velocidad de carga de 200-250 kg. por minuto la cal es absorbida y disuelta de inmediato por la escoria proveída que ésta se encuentre en agitación. Puede favorecerse aún más la formación de la escoria agregando los fundentes en forma simultánea.

La carga de la cal fina se hace desde un silo de cal con equipo neumático de arrastre, instalado directamente junto a lhorno. El almacenaje de la cal en el silo permite guardarla sin mermas o pérdidas de calidad por hidratación. Con una instalación de este tipo se puede cargar la cal en cualquier momento, sin interrumpir otros trabajos o desconectar el suministro eléctrico del horno. Este tipo de silo para cal se utiliza desde la puesta en marcha de la planta siderúrgica del RWB.

A partir de la posibilidad de fundir muy rápidamente las escorias formadas con cal fina, desarrollamos una forma de trabajo que podría ser designada como "procedimiento de las pequeñas cantidades de escoria parcial". La eficacia de las escorias metalúrgicas depende, ante buena capacidad de reacción y composición, del tiempo de reacción por un lado, y por otro, del desequilibrio químico entre acero y escoria. Con la subdivisión de la cantidad total de escoria de una hornada en distintas cantidades parciales, se aplica un procedimiento análogo a la "destilación fraccionada". El cambio de escoria se hace rápidamente eliminando la escoria del horno y cargando casi en forma simultánea nueva cal. Durante un cam-

TABLA 2

Cal en polvo para manejo neumático.

Granulometría (Valores promedios)		
	mm.	%
Dimensión de las partículas en mm. y proporción en %.	$\ggg$ 0,09	3
	0,06 $\ggg$ 0,09	10
	0,04 $\ggg$ 0,06	22
	0,03 $\ggg$ 0,04	34
	$\ggg$ 0,03	31

Análisis (Valores promedios en %)

	%
CaO	94,5
MgO	1,0
SiO ₂	1,2
S	$\ggg$ 0,08
Pérdida por combustión	2,0

bio de escoria de este tipo, las escorias que permanecen en el horno se mantienen líquidas y capaces de reaccionar con el acero.

En la aplicación práctica de este procedimiento se carga la primera cal más o menos 10 minutos antes de finalizar la fusión, de tal manera que desde el comienzo del afino se cuenta con escoria líquida.

Descarburación de las hornadas.

La descripción de los métodos de descarburación en el horno a arco voltaico, como también las indicaciones sobre la desfosforación y desulfuración de las hornadas, se hará sobre la base del trabajo práctico envuelto que es lo que interesa sobre todo.

El proceso tradicional de afino se realizó con minerales de hierro hasta la introducción del oxígeno puro gaseoso en los procesos siderúrgicos. La acción de los óxidos de hierro, reforzada por el oxígeno del aire —sobre todo en el horno Siemens-Martin— produce su efecto a través del óxido de hierro que existe en la escoria. Para altas velocidades de afino debe mantenerse alto el contenido de FeO mediante continuas adiciones de mineral. Sin embargo, en el momento de la sangría, la escoria debe contener concentraciones mínimas de FeO para que a su vez el O₂ y las inclusiones en el acero sean mínimas. El mínimo de óxidos de hierro que se desea obtener en el acero y en la escoria se obtienen en este procedimiento con un "hervido total" de las hornadas, el cual se genera por las reacciones entre acero y escoria y carbono-oxígeno, lo que constituye el método tradicional y que ocupa mucho tiempo.

Esta forma de trabajo no es favorable, a nuestro criterio, para obtener elevadas tasas de fusión en hornos eléctricos de arco.

En el horno eléctrico de arco se pasa de la temperatura de fusión a la de sangría en pocos minutos debido a su gran velocidad de calentamiento, en contraposición al horno S. M., y hay que desistir entonces de aplicar los procedimientos de oxidación por intermedio de la escoria, debido a que el proceso dura mucho tiempo.

La descarburación de las hornadas por insuflación de O₂ en el baño de acero se regula y dosifica muy bien. Permite, por medio del paso directo del O₂ a [FeO], elevar la velocidad de la descarburación casi a voluntad. Pese a ello, las reacciones transcurren más cerca del equilibrio C-O que en el afino con mineral de hierro, hecho conocido a través de muchos ensayos e investigaciones. La ventaja de las menores cantidades de O₂ disueltas en el acero conduce a un mínimo de inclusiones de óxidos en el acero, proveído que la desoxidación sea adecuada.

En la práctica, la fase de afino que podría completarse en 10 minutos con una velocidad de descarburación de 0,02-0,03% C/min., debe a menudo ser más larga sin embargo, debido al tiempo necesario para otras reacciones.

Desfosforación de las fusiones.

Como es sabido, la desfosforación se verifica más fácilmente a bajas temperaturas. Para ello son decisivas la temperatura de la escoria y el contenido de CaO libre de las escorias, y no la temperatura del acero.

En el curso de una investigación que debía aclarar ante todo las posibilidades prácticas de desulfuración mediante cal en polvo en el horno a arco voltaico se comprobó, además, que esta técnica tiene posibilidades como método adecuado para la desfosforación.⁵

Como lo expresáramos con anterioridad, es posible cargar rápidamente mezclas de cal y óxido de Fe en el horno. También frente al caso de altas temperaturas del acero y de la escoria, se puede bajar temporalmente así la temperatura de esta última. Con esta condición y los altos contenidos de óxidos de Fe existentes simultáneamente en la escoria, se logra llevar a cabo con rapidéz una buena desfosforación en el curso de la insuflación de O₂. Para evitar la reducción del fósforo a altas temperaturas, se dejará escurrir esta escoria en forma parcial después de corto tiempo y se la reemplazará por nuevas adiciones de cal.

La buena desfosforación que se obtiene mediante el método de formación de escorias con cal en polvo de la RWB ha hecho prácticamente innecesario aplicar el método especial de la mezcla cal-óxidos de hierro.

Con contenidos de fósforo de 0,040-0,050 P al quedar fundida la carga se alcanzan contenidos finales de 0,015% P aún aplicando el método de desfosforación convencional. El cambio de escorias tan simple de hacer evita al mismo tiempo por completo el peligro de una refosforación eventual.

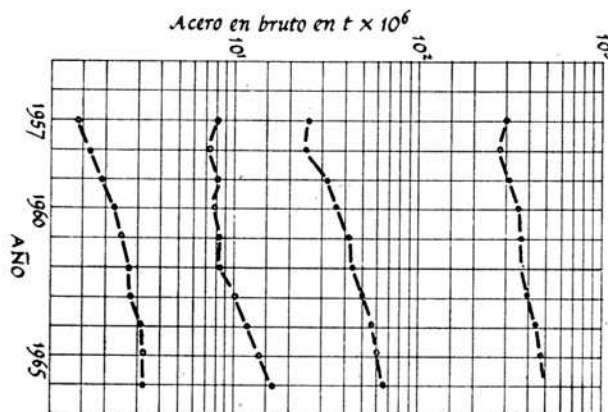


Gráfico 1. Producción mundial de acero bruto y de acero en horno eléctrico en EE. UU. y en la República Federal Alemana.

Desulfuración de los hornos dentro del horno.

En tanto que la desfosforación de las fusiones no exige un gasto de tiempo especial dentro de los límites de fósforo indicados, la desulfuración causa mayores dificultades.

En las investigaciones señaladas con anterioridad, es decir, "las posibilidades de desulfuración por medio de cal fina en el horno a arco voltaico", se investigó en primer lugar el contenido de S de las muestras tomadas al quedar fundida la carga. El gráfico 2 muestra la dependencia de estos valores del tamaño de la abertura para la conexión de la instalación de eliminación de polvo. Los contenidos de S más altos en condiciones de carga de chatarra comparables, alcanzaban a 0,0435% S en plantas no conectadas a una instalación de eliminación de polvo. Como lo muestran los diferentes puntos de la curva, representando cada uno 100 coladas controladas, el aumento de 430 a 700 mm. de la abertura de la bóveda para conectarse a la instalación de eliminación de polvo, produce una disminución notable en el contenido de S. El valor más bajo —alrededor de 0,038% S— se constató con una abertura de 700 mm. de diámetro.

Para la desulfuración de estas hornadas —con análisis de fusión de más o menos 0,040% S y valores finales de 0,025% S— hubo de emplearse un tiempo de reacción de escoria de más o menos 60 a 70 minutos, con una velocidad de desulfuración normal de $0,2-0,25 \times 10^{-3}\%$.

Estudios posteriores incluyeron el examen de las diversas condiciones relacionadas con la secuencia del proceso de la desulfuración. Sin entrar en detalles, daremos aquí algunos datos.

Los valores representados en el gráfico 2 revelan que ya dentro de la fase de fusión se alcanza cierto grado de desulfuración que se inicia en la fase gaseosa y que depende del tamaño de la abertura para conectarse a la instalación de eliminación de polvo, vale decir, antes que se establezcan las condiciones para la oxidación. Al igual que en otros procedimientos de aceración, esta situación se confirmó también con otras investigaciones^{6,7,8} para el horno eléctrico de arco con inyección de O_2 durante la fusión. El gráfico 3 muestra que los valores de azufre en la carga fundida, al inyectarse O_2 durante la fusión, eran 30-35% más bajos que aquellos en una carga fundida sin inyección de oxígeno.⁹

De manera análoga a las condiciones del comienzo de la fusión, también la primera parte de la desulfuración de la carga fundida consiste en proporción importante en una desulfuración gaseosa. La segunda parte se activa por el trabajo metalúrgico de las escorias, por absorción y combinación del azufre en la escoria.

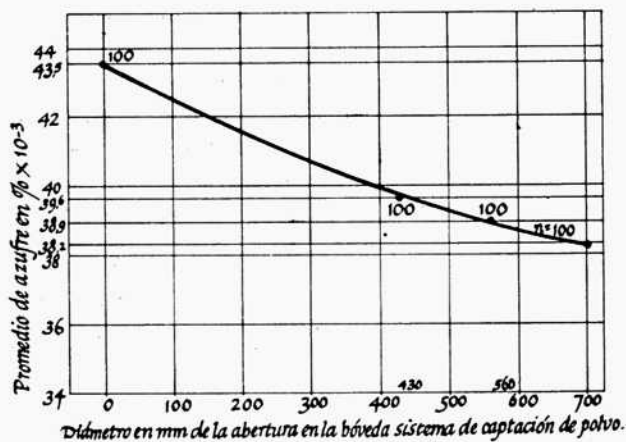
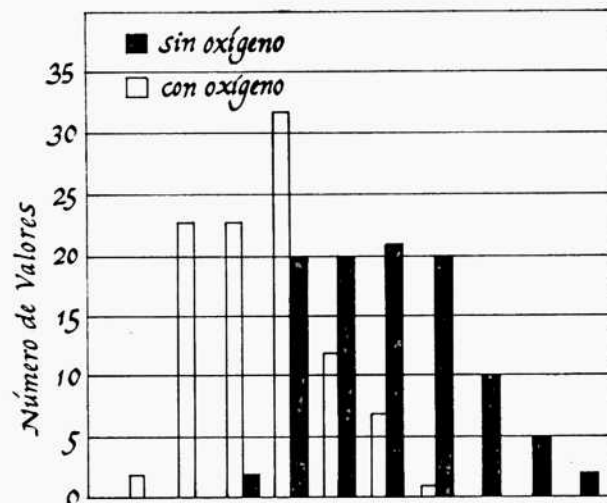


Gráfico 2. Contenido de azufre al completar la fusión y diámetro (en mm) de la abertura en la bóveda, para el sistema de captación de polvo.

El gráfico 4 muestra en la parte superior el porcentaje de azufre durante el período de afino. En la parte inferior del diagrama aparece la proporción de las desulfuraciones en fase gaseosa y en fase escoria, según resultados obtenidos en dos muestras preliminares. Este gráfico, que corresponde a un período de afino de 45 minutos y 5 probetas, muestra que al comienzo del afino, la desulfuración se verifica en un 90% vía a la fase gaseosa. Solamente 10% del S se elimina del acero a través de la escoria. Al final del período de afino la proporción es la inversa pues 90% del S se elimina por combinación con el óxido de calcio de la escoria, mientras que sólo se elimina el 10% vía a la fase gas.



Contenido de azufre en % x 10⁻³

Gráfico 3. Distribución del contenido de azufre en las muestras preliminares (después que está fundida la carga), trabajando con y sin oxígeno. Valores promedio de 100 hornadas, según HARMS Y ENGELMANN.

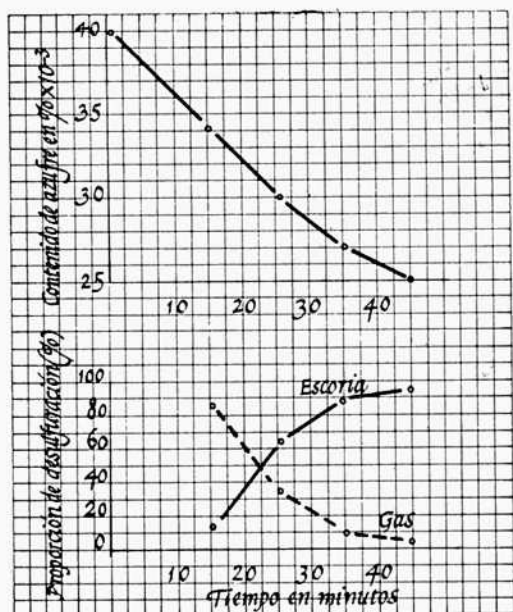


Gráfico 4. Desulfuración en el período de afino y distribución porcentual de la desulfuración en fase escoria y fase gas.

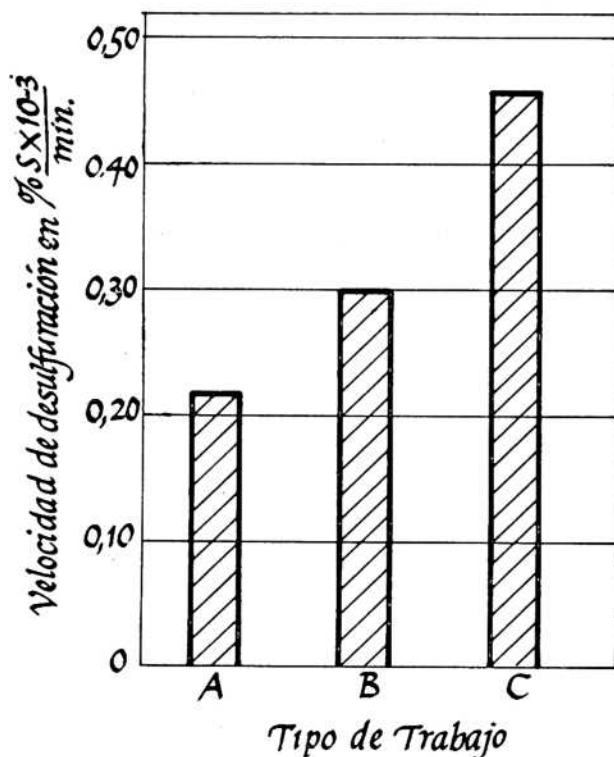


Gráfico 5. Influencia en la velocidad de desulfuración al agregar cascarilla a la cal.

A) Resultados con cal sola

B) Resultados con mezcla de cal y después cascarilla (de laminación)

C) Resultados agregando cal y cascarilla, pre-mezclados.

El resultado global de las investigaciones muestra que además de las bajas temperaturas, se requiere poca cantidad de escoria y que ésta sea de baja basicidad, para obtener una elevada proporción de desulfuración en fase gas. Por el contrario, para obtener el máximo de desulfuración a través de la escoria se requieren grandes volúmenes de escoria, de alta basicidad (SiO_2/CaO hasta 1,4).

Estas dos condiciones para lograr la desulfuración óptima se contradicen prácticamente en todos los puntos. Sin embargo, en cuanto al ciclo de trabajo necesario, o sea el tiempo que ocupan la desfosforación y la desulfuración en el período de afino, coinciden bastante bien. Es fácil pasar de una pequeña cantidad de escoria a una grande, con las condiciones requeridas de basicidad y temperatura, cuando se emplea la técnica de la cal en polvo, descrita más arriba. Pese a ello, el tiempo necesario para la desulfuración de la hornada aumenta, pues dicho tiempo incluye el necesario para elevar la temperatura y para satisfacer otras condiciones de correcto tratamiento metalúrgico. (Otras mejoras en las condiciones de desulfuración harían posible disminuir aún más el tiempo necesario para la fusión, proveído naturalmente que no afectaran la calidad del acero).

Con los métodos empleados normalmente utilizando cal en polvo, se ha obtenido velocidades de desulfuración de $0,20-0,25 \times 10^{-3} \% S/\text{min.}$ Para aumentar la velocidad de disolución de la cal, de por sí elevada, y la reactividad de las escorias, se ha cargado cascarilla de laminación junto con la cal, en el curso de las investigaciones de que damos cuenta^{10,11}. El gráfico 6 muestra las velocidades de desulfuración alcanzadas con tres métodos distintos: estas velocidades han aumentado hasta $0,47 \times 10^{-3} \%/\text{min.}$

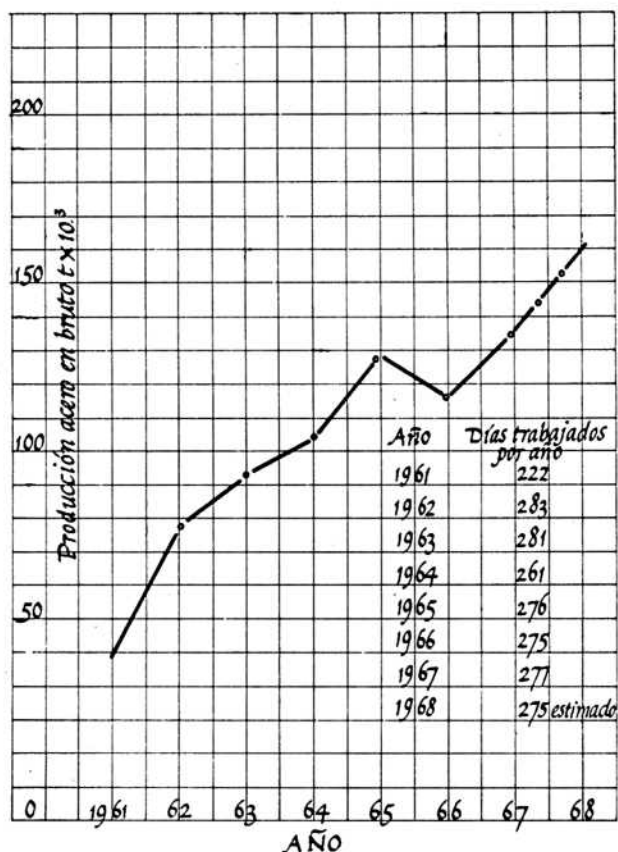


Gráfico 6. Producción de acero bruto en la Röhrenwerke Bous/Saar GmbH (Bous/Saar) en $t. \times 10^3$. (Producción extrapolada de 4 meses para 1968.

Esta última velocidad de desulfuración comprueba que es posible disminuir aún más el tiempo ocupado en la desulfuración. Si tomamos por hipótesis $0,040\%$ y $0,025\%$ por ciento como contenido inicial y final de azufre, el tiempo teórico para la desulfuración es de 60 minutos aproximadamente, con una velocidad de desulfuración de $0,25 \times 10^{-3} \%$ y 32 min. para una velocidad de $0,47 \times 10^{-3} \%$.

Estas cifras prueban que los aspectos críticos de la desulfuración pueden acomodarse a las condiciones del ciclo de fusión rápido propio del procedimiento de ultra-alta potencia.

Resultados y posibilidades de desarrollo de los procedimientos expuestos.

Es difícil la comparación de las tasas de producción de nuestra acería con otras, debido a que la del RWB opera en forma discontinua. Pese a ello expondremos algunas cifras y la situación actual de la desfosforación y desulfuración indicando los tiempos de fusión correspondientes.

En la parte superior de la Tabla 3 aparecen los tiempos de sangría a sangría y la división en tiempos de fusión propiamente tal, de afino y tiempo perdido, en base a una evaluación de 200 hornadas. El tiempo de fusión propiamente tal incluye el ocupado en fundir cargas suplementarias, cambio de electrodos y atrasos en los períodos de carga máxima debidos a las condiciones de nuestro contrato de abastecimiento de energía eléctrica.

TABLA 3

Tiempo promedio de fusión y análisis sobre la base de los resultados de 200 hornadas (4,68).

1. Tiempos de fusión (en hrs. y min.)

Tiempo de sangría a sangría	2,13 h.	
Tiempo carga fundida	1,19 h.	(incluyendo cambio de electrodos y cargas complementarias).
Tiempo de afino	0,41 h.	
Detenciones	0,13 h.	

2. Análisis (en%)

	C	Si	Mn	P	S
Muestra de carga fundida	0,38	—	0,20	0,044	0,048
Muestra final	0,12	0,19	0,44	0,015	0,025
Desfosforación =	66%				
Desulfuración =	48%				

Velocidad de desulfuración = $0,56 \times 10^{-3}\%$ /min.

En la parte inferior de la tabla se indican los valores promedios de composición química cuando se ha completado la fusión de la carga y el análisis final de las hornadas.

Como pueden observar, el contenido de azufre en las muestras al finalizar la fusión ha aumentado de 0,040% a 0,048%. El período de afino en comparación ha aumentado sólo a 41 minutos y se obtuvo con una velocidad de desulfuración mejorada de $0,56 \times 10^{-3}\%$ /min., empleando los métodos descritos.

El último gráfico 6 muestra la producción anual de acero en bruto de los hornos eléctricos del RWB y el número de días de trabajo en cada caso. La curva muestra el desarrollo logrado con los hornos de "gran capacidad de fusión" que comenzaron a trabajar en 1963. Este desarrollo está terminado por ahora con la instalación de un nuevo transformador de aproximadamente 34 MVA el año 1967.

Resumen.

En el presente informe se han descrito los nuevos métodos de formación de escorias y los resultados alcanzados respecto a desfosforación y desulfuración. El empleo del horno de arco de ultra alta potencia en la fabricación de aceros de alta calidad necesita nuevos métodos de trabajo que tienen gran influencia en el resultado global.

La producción de aceros con bajo contenido de O_2 (y por tanto, bajo contenido de inclusiones de óxidos) ha quedado virtualmente resuelta con la técnica de insuflación de oxígeno que es posible emplear hoy día y el período de afino puede ser muy corto. Por el contrario, el desarrollo de nuevos métodos de desfosforación y desulfuración no ha terminado aún; nuevos estudios sobre estos aspectos serán necesarios si se desea aprovechar las ventajas que ofrece el horno eléctrico de gran capacidad de fusión.

BIBLIOGRAFIA

- (1) Robinson, C. G., und W. E. Schwabe: "Ultra High Power Electric Steel Furnace Operation", Journal of Metals, Jan. 1965.
- (2) Ottmar, H.: "Leistungsmöglichkeiten eines 50-t-Lichtbogenofens" St. und E., 86 (1966), S. 201/07.
- (3) Hauke, M., H. Clees, H. J. Kopinek und H. Ottmar: "Verwendung von Feinkalk im Elektrostahlwerk", St. und E., 83 (1963), S. 441/49.
- (4) Leitner, F., und E. Plöckinger: "Die Edeltahlerzeugung" Springer Verlag Wien (1950), S. 38/39.
- (5) Voss, H.: "Das Verhalten des Schwefels im Frischprozess eines basischen Lichtbogenofens unter Verwendung von Weiszfeinkalk", Dipl. — Arbeit bei der Bergakademie Clausthal.
- (6) Bardin, J. P.: "Anwendung von Sauerstoff bei der Stahlerzeugung", VEB-Verlag Technik, Berlin 1959.
- (7) Neuhaus, Langhammer, Kosmider und Schenck: "Entschwefelung über die Gasphase bei Sauerstoff-Frischverfahren", Archiv für das Eisenhüttenwesen 33 (1962), S. 505/16.
- (8) Neuhaus, Langhammer, Kosmider und Schenck: "Möglichkeiten zur Entschwefelung von Stahl über die Gasphase beim Frischen mit Sauerstoff", St. und E., 82 (1962), S. 1279/87.
- (9) Harms, F., und W. Engelmann: "Einschmelzen im Großraumlichtbogenofen unter Anwendung eines Sauerstoffstrahles als viertem Brennfleck", St. und E., 85 (1965), S. 456/64.
- (10) Vom Ende, Bardeheuer und Schürmann: "Gleichgewichte zwischen SM-Schlacken und Eisenschmelzen", St. und E., 82 (1962), S. 1227/35.
- (11) Winkler und Chipmann: "Metals Technology, Technical Publications", New York 13 (1946).

La utilización de minerales pre-reducidos en la elaboración de aceros en horno eléctrico

Por J. Antoine, N. Paquel y J. Dumont-Fillon,

IRSID.

El Congreso Internacional sobre la producción y utilización de los minerales pre-reducidos (Evian, mayo de 1967) confirmó el desarrollo actual de las investigaciones en el campo de la pre-reducción, y la aparición de una nueva fuente de metal en competencia con la chatarra que, hasta la fecha, constituía la carga tradicional del horno eléctrico de aceración.

Es un hecho que la fusión eléctrica de productos pre-reducidos se practica a nivel industrial cuando las condiciones locales así lo permiten: es el caso, por ejemplo, de México, en que el procedimiento HyL ha permitido realizar una importante expansión de la producción siderúrgica y representará próximamente, por sí solo, una capacidad de producción de 1.700 toneladas diarias de hierro esponja (1), (2).

Si bien los métodos de reducción y el costo de las materias primas desempeñan un papel a menudo determinante en el porvenir de estas técnicas, también tiene importancia conocer los resultados térmicos y metalúrgicos que se derivan del empleo de dichos productos en los hornos de aceración (3).

Así, el IRSID inició hace varios años el estudio del empleo de los productos fuertemente pre-reducidos, en el horno eléctrico. Dentro del cuadro general es preciso destacar especialmente los ensayos de fusión de cargas con alto porcentaje de pellets SL/RN realizados en nuestro horno de arco de 6 t - 3 MVA situado en la Estación de Maizières, con el concurso de la Steel Company of Canada (4). Paralelamente, esta última efectuó ensayos en hornos de capacidad industrial de 15, 25 y luego de 75 toneladas (5).

En el presente estudio nos proponemos, en primer lugar, exponer y analizar los resultados térmicos y metalúrgicos que hemos obtenido, con el propósito de establecer un modo de operación apropiado para este tipo de cargas, técnica que a la vez debe ser simple y prestarse a la transposición industrial y además, si es posible, a la automatización del horno eléctrico.

Basándonos en un análisis de las pérdidas térmicas del horno durante la operación y en el conocimiento de las necesidades teóricas de energía específicas del producto cargado, intentaremos prever los resultados de explotación en el caso general. Estos cálculos de previsión del consumo y de la productividad, comparados con los que ya se han publicado en relación con ensayos industriales, servirán de base para la comparación económica entre la chatarra y el mineral pre-reducido, utilizados en el horno eléctrico.

I — Datos generales.

A. Medios empleados. Los ensayos que vamos a describir se refieren a la fusión de cuatro clases de productos pre-reducidos SL/RN, cuya composición se da en el cuadro I.

En este estudio se trata, pues, de productos fuertemente pre-reducidos, puesto que el grado de metalización, es decir, la relación entre el hierro metálico y el hierro total, es superior a 95%.

Cuadro I — Composición de los productos SL/RN cargados en el horno de Maizières.

Naturaleza del producto		Fierro esponja A	Finos A	Fierro esponja B	Fierro esponja C
Fierro total	%	93,0	89,6	90,3	90,5
Fierro metálico	%	91,9	85,8	88,1	87,5
Oxígeno unido al fierro	%	0,38	1,21	0,69	1,0
Ganga	%	5,4	8,2	6,0	7,6
% CaO + % MgO	—	0,87	0,50	0,17	0,65
% SiO ₂ + % Al ₂ O ₃	—	0,157	0,316	0,020	0,100
Carbono	%	0,048	0,044	2,23	0,071
Manganeso total	%	0,010	0,016	0,009	0,005
Fósforo	%	0,015	0,033	0,026	0,009
Azufre	%				

También fundimos otros productos pre-reducidos cuya composición podía ser esencialmente diferente de la del fierro esponja anterior, según el procedimiento de pre-reducción o la composición química del mineral inicial. Volveremos a este punto más adelante cuando analicemos los resultados.

El producto pre-reducido, de dimensiones y composición regulares, se presta particularmente bien para una técnica de carga continua. Entre las diferentes soluciones posibles optamos por aquella que consiste en introducir el producto, por gravedad, por el centro de la bóveda.

La instalación que se ve en forma de esquema en la figura 1 se compone, en su versión actual, de lo siguiente:

- una tolva capaz de contener hasta 7 toneladas de hierro esponja;
- un distribuidor vibratorio seguido de una banda pesadora;
- una banda transportadora de movimiento horizontal, que permite el volteo del horno entre fusiones;
- un conducto de alimentación de hierro esponja hacia un orificio que atraviesa la bóveda del horno entre los tres electrodos.

B. Conducción de la fusión. El rendimiento del horno eléctrico cargado con chatarra es elevado durante la primera parte de la fusión, pues la carga intercepta la radiación del arco en su casi totalidad, gracias al fenómeno de los "pozos". Era lógico, pues, intentar traspasar estas ventajas a la fusión de hierro esponja.

Ahora bien, el sistema de carga continua significaba conducir la operación con una carga esencialmente líquida. Esta manera de operar encerraba el riesgo de pérdidas térmicas importantes por radiación del baño y del propio arco.

Por ello preferimos mantener sobre el baño, en forma continua, cierta cantidad de producto sin fundir, y establecer así entre los tres electrodos una pila que los rodea, con el fin de aprovechar al máximo la energía del arco, y proteger el revestimiento. No obstante, el peso del producto sólido que se forma de este modo debe permanecer bajo cierto límite, para que el arco siempre pueda establecerse sobre el metal líquido.

Empleamos, pues, el método de fusión siguiente:

- el horno se carga primero con 1,5 t de chatarra, es decir, el 20% de la carga metálica que en la práctica industrial puede corresponder a la chatarra de retorno.
- luego de haber consumido el 60 a 70% de la energía necesaria para la fusión de la chatarra, el horno se carga con mineral pre-reducido, en forma continua. La alimentación del material se regula de tal manera que se mantenga entre los tres electrodos una pila de producto sin fundir, de peso constante, del orden de aproximadamente 500 kg. Durante este período se controla el contenido de carbono y los ajustes se practican mediante insuflaciones de coque en polvo.

Una vez concluida la alimentación continua, la pila se funde en 15 min. aproximadamente, y el fin de la fusión se establece en cuanto comienza a aumentar la temperatura del metal.

La última fase del ensayo consistía en eliminar la mayor parte de la escoria de fusión y calentar al mismo tiempo el metal hasta una temperatura frecuentemente próxima a los 1650°C, con lo cual nos situábamos en las condiciones que corresponden al término del afino en una operación clásica con una escoria, antes del ajuste final para vaciar.

Al conducir la fusión en esta forma resultaba posible tomar muy pronto las muestras de metal o de escoria, o medir la temperatura del baño, lo que tiene gran importancia práctica para el control térmico y metalúrgico del horno. Se complementaban estas informaciones determinando continuamente la temperatura del revestimiento y de la composición de los gases en la cuba del horno. Estos datos son muy interesantes, pues nos permitieron mejorar la precisión de los balances térmicos del horno y el control de la operación que se pudo realizar en seguida mediante un computador numérico.

II — Resultado de los ensayos.

A. Resultados térmicos. En el cuadro II reunimos los principales resultados de explotación en términos de fusión y afino, correspondientes, respectivamente, a temperaturas de 1550 a 1650°C en el metal.

Podemos ver en primer lugar el mejoramiento de las velocidades de fusión y de los consumos de electricidad entre el hierro esponja A y C, fenómeno que se puede atribuir al perfeccionamiento progresivo del modo de operación. En el caso del hierro esponja B y C, las velocidades de fusión son casi siempre superiores a 4 t/h, y los tiempos de fusión están poco dispersos, como lo indican los valores de las desviaciones estándares.

Además, dichos resultados de conjunto, por útiles que sean para las comparaciones rápidas, no bastan para explicar la importancia de ciertos parámetros como la composición del producto o el método de fusión, para poder pensar en una transposición de nuestros resultados al caso general. Tal es el objeto del estudio del comportamiento térmico del horno durante la fusión y el calentamiento, cuyos principales resultados presentamos ahora.

Cuadro II — Principales resultados térmicos durante la fusión y el afino.

	Fierro esponja A	Finos A	Fierro esponja B	Fierro esponja C
Consumo en la fusión*				
kWh/t liq.	610	628	606	601
Desviación estándar	30	17	23	27
Velocidad de fusión t/h	2,5	3,1	4,1	4,1
Desviación estándar	0,5	0,9	0,4	0,2
Consumo total** kWh/t liq.				711
Desviación estándar				40
Producción por hora t/h				3,2
Desviación estándar				0,2

* temperatura media: 1.545°C

** temperatura media: 1.650°C

1. Ensayo de interpretación de nuestros resultados. De manera general se puede admitir que los resultados obtenidos reúnen la influencia de dos fenómenos. El primero es la energía que teóricamente hay que suministrar a la carga para fundirla y calentarla a determinada temperatura. El segundo es la forma en que se utiliza la energía eléctrica para realizar este trabajo.

Para estudiar las variaciones mutuas de las dos dimensiones que miden, por una parte, una contribución de energía dentro del horno y, por otra, el efecto útil correspondiente, distinguiremos los dos factores siguientes:

- la potencia eléctrica medida al nivel del transformador. Es aproximadamente proporcional a la energía irradiada por el arco;
- la potencia útil, que se define, por unidad de tiempo, como la suma algebraica de las entalpías del metal, de la escoria, de las reacciones de oxidación y reducción del hierro, de la oxidación del carbono perdido por las fases y condensadas en monóxido a la temperatura del baño.

La figura 2 reúne el conjunto de los resultados obtenidos con diferentes tipos de hierro esponja durante las dos fases principales de la elaboración: la fusión y el afino. Podemos hacer las siguientes observaciones:

- En la fusión existe una estrecha relación estadística entre las potencias útiles y eléctricas, como lo indica la figura 2. Su forma es:

$$P_u = 0,85 P_e - 250 \quad (P_u \text{ y } P_e \text{ están expresados en kW}).$$

De esta relación podemos desprender el rendimiento práctico del horno que es igual a P_u/P_e . La forma de la ecuación nos muestra que dicho rendimiento es tanto mejor cuanto más elevada sea la potencia eléctrica, cosa que era previsible a priori. En nuestras condiciones puede llegar a 80%.

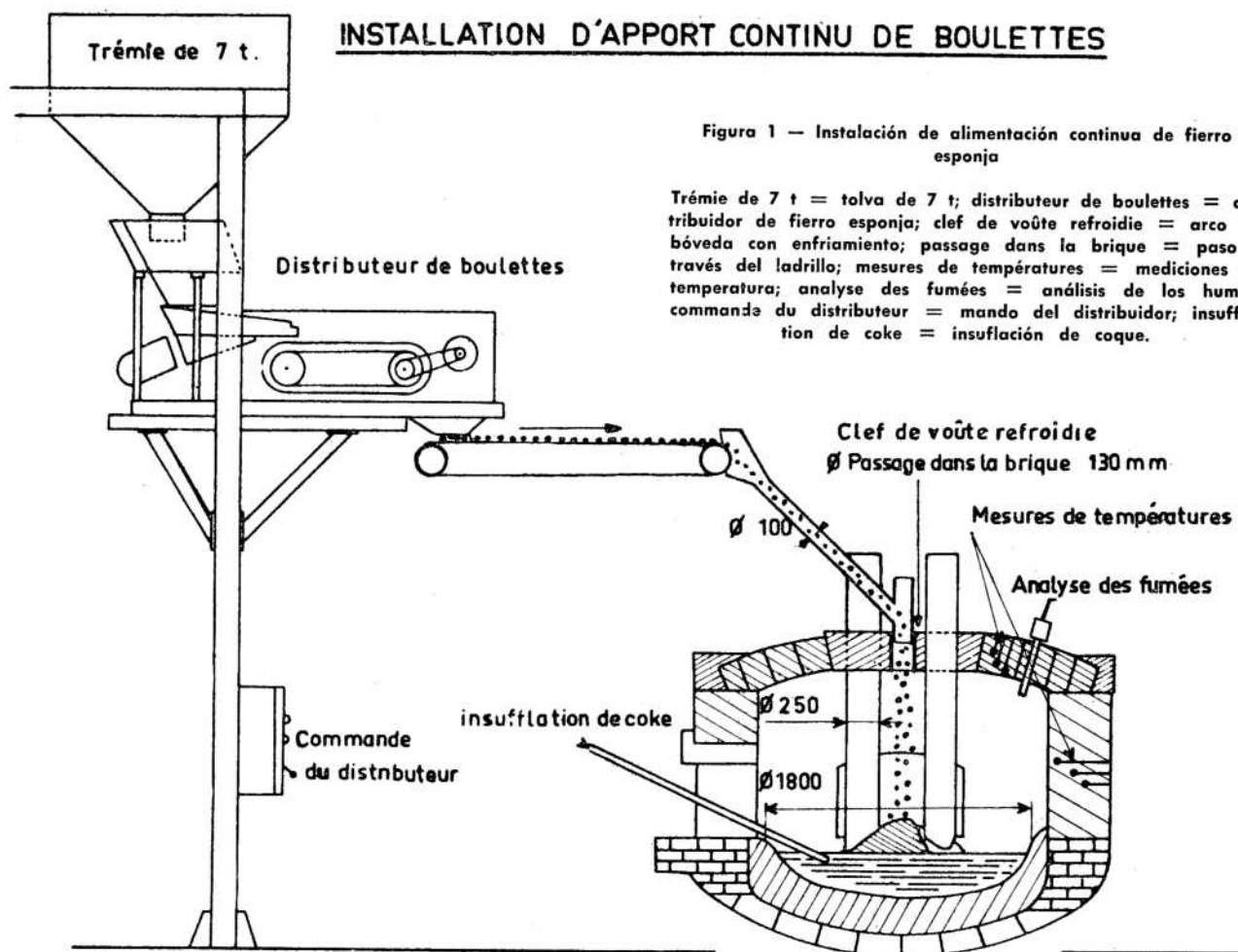


Figura 1 — Instalación de alimentación continua de hierro esponja

Trémie de 7 t = tolva de 7 t; distributeur de boulettes = distribuidor de hierro esponja; clef de voûte refroidie = arco de bóveda con enfriamiento; passage dans la brique = paso a través del ladrillo; mesures de températures = mediciones de temperatura; analyse des fumées = análisis de los humos; commande du distributeur = mando del distribuidor; insufflation de coke = insuflación de coque.

b) Por el contrario, en régimen de calentamiento y de afino los valores del rendimiento del horno, mucho más dispersos que en la fusión, no alcanzan sino a 15 — 50 por ciento, lo que hace suponer una diferencia sensible del régimen de pérdidas térmicas en relación con el que existe durante la fusión continua.

Cierto número de cálculos sistemáticos de rendimiento del horno en diferentes fases de la elaboración parecen indicar que la pendiente de la recta de correlación se encuentra estrechamente ligada al rendimiento propio del arco. En tales condiciones, se comprende fácilmente el efecto beneficioso que ejerce la presencia de una pila de productos sólidos o la de una escoria de espesor suficiente para crear un obstáculo a la radiación del arco. Más adelante veremos en qué forma se ha sacado provecho de esto para automatizar la fusión.

c) La relación entre la potencia eléctrica y la potencia útil permite precisar el mecanismo de transmisión del calor para un modo de operación dado. Ella no depende de la composición química del producto, como lo han demostrado los ensayos análogos hechos con otras cargas (nódulos Purofer, briquetas Fior, polvos Novalfer). A la inversa, se puede calcular a priori la energía útil si se conoce la naturaleza de la carga. Basta entonces conocer la relación entre P_u y P_e para prever los resultados de explotación que se pueden obtener en condiciones nuevas. Más adelante estudiaremos la generalización de este método para aplicarla a otros hornos.

2. Ensayos de automatización de la conducción de la fusión y del calentamiento. Luego de analizar los resultados térmicos del horno, nos pareció importante tratar de reducir al mínimo la radiación del arco sobre el revestimiento, para aumentar el rendimiento térmico del horno. Aun cuando la idea, en principio, no es nueva (6), la dificultad reside en la medición industrial de un flujo térmico representativo de la evolución de la eficiencia del calentamiento. Para esto registramos la temperatura de un par termoeléctrico cuya soldadura iba colocada dentro de una barra de grafito situada, a su vez, a 30 cm por encima de los cordones. Gracias a las cualidades conductoras del grafito, las evoluciones del par "piloto" siguen las variaciones del flujo no interceptado por la carga, lo que nos permitió pensar en la conducción "automática" de la fusión y, luego, del calentamiento de un baño líquido mediante un computador numérico. (7).

La figura 3 muestra el esquema de las conexiones del computador CAE 90-10 y los anexos utilizados en estos ensayos. Ciertas operaciones son enteramente automáticas, como el registro de la potencia, de la temperatura "piloto" o el ajuste de la alimentación de hierro esponja, y la instalación funciona además como "guía del operador", como por ejemplo en la toma de muestras y las mediciones de temperatura del metal, las adiciones o los ajustes eléctricos.

Sin entrar en los detalles del programa utilizado, podemos descomponer las diferentes tareas del computador de la siguiente manera:

RELATION ENTRE LES ENERGIES NECESSAIRES ET DEPENSEES EN COURS DE FUSION ET EN AFFINAGE

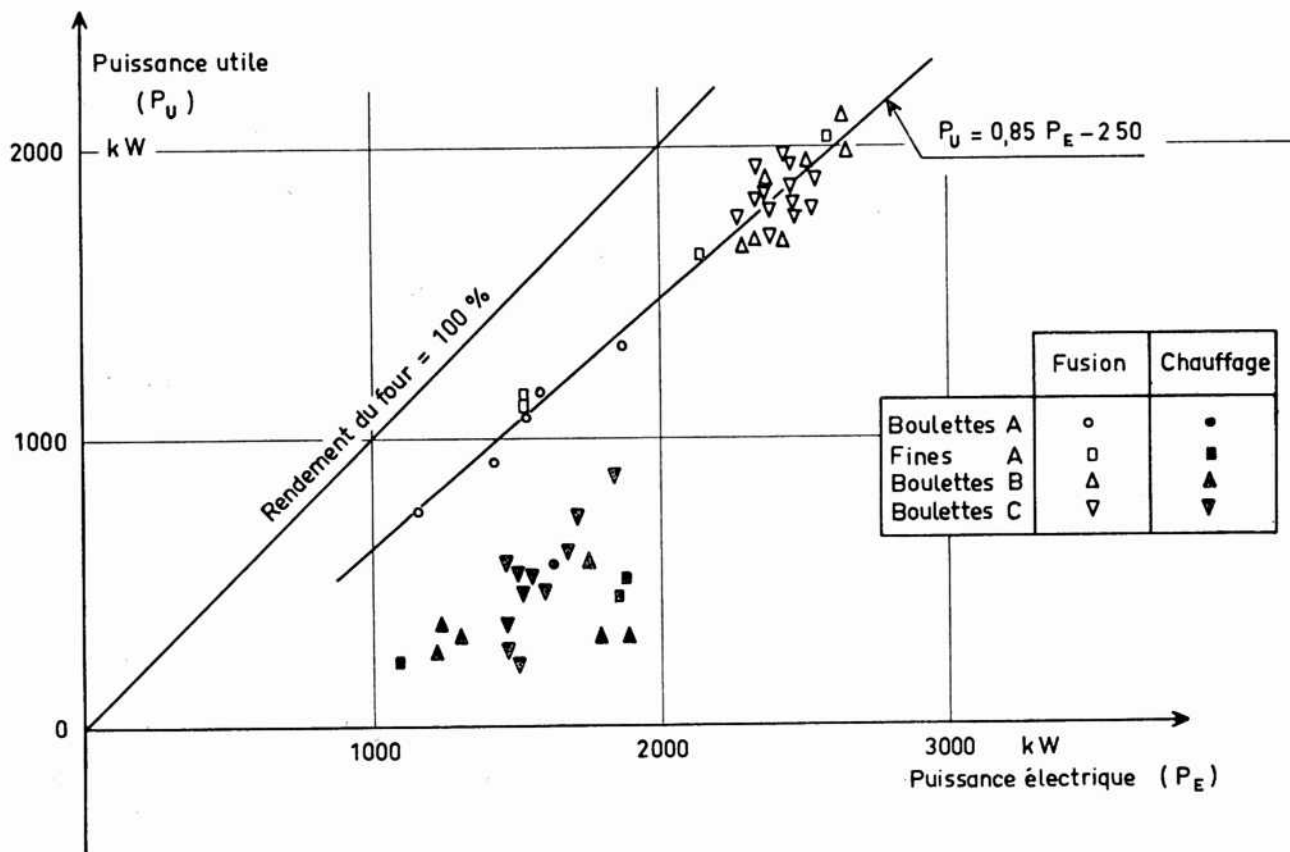


Figura 2 — Relación entre las energías necesarias y las gastadas durante la fusión y el afino.

Puissance utile = potencia útil; fusion = fusión; chauffage = calentamiento; boulettes = hierro esponja; fines = finos; puissance électrique = energía eléctrica.

1. Antes de la fusión, la composición de la carga se calcula en función del análisis de los materiales utilizados y de los objetivos deseados (tipo de acero, peso del metal).
2. La fusión propiamente tal empieza con un período inicial que corresponde a la fusión de chatarra y comienzo de la alimentación continua de hierro esponja. En seguida se regula el flujo de material de tal forma que las variaciones del par piloto queden entre ciertos límites (0 a 2°C/mn). La figura 4, que ilustra el desarrollo de este ensayo, muestra que toda desviación de esta consigna determina una corrección en la alimentación de hierro esponja para reducir al mínimo las pérdidas térmicas, mientras se limita el peso del producto sin fundir dentro del horno. Durante este lapso, el monto de las recarburaciones se calcula teniendo en cuenta las variaciones en la composición de la carga.
3. Una vez terminada la fusión, se indica al operador la eliminación de la escoria y luego el calentamiento del baño. La indicación de la temperatura piloto permite

precisar el rendimiento térmico instantáneo, y reducir la dispersión de la relación entre P_u y P_e que habíamos observado en la figura 2. El producto tenía pureza suficiente para no presentar problemas de afino, y nuestro único objetivo metalúrgico era regular el contenido de carbono.

Nuestros ensayos de automatización de la fusión, efectuados con hierro esponja C y realizados en número limitado, merecerían verse confirmados en un mayor número de cargas y con otros productos pre-reducidos de distinta forma o composición. Sin embargo, podemos citar los siguientes resultados principales:

- gran flexibilidad del método de fusión que toma en cuenta las variaciones difíciles de conocer a priori, tales como las del estado térmico del horno, el estado de oxidación de la chatarra de la fase inicial o del hierro esponja;
- disminución sensible de la dispersión de los resultados térmicos que está ilustrada en el cuadro II. Para el hierro esponja C se puede prever el fin de la fusión con aproximación de menos de 7 mm;

- economía en energía y refractarios, difícil de expresar en cifras, pero probable, porque las fusiones se han conducido en condiciones óptimas de rendimiento del horno, gracias a las potencias eléctricas más elevadas posibles (figura 2) y a una buena utilización de la energía del arco (el calentamiento promedio del par durante la fusión es de 1,2°C/mn);
- regulación de la temperatura de colada, estimando la velocidad de calentamiento que se puede conocer con una desviación estándar de 0,5°C/mn;
- disminución de las intervenciones humanas y supresión de errores, pero subsiste siempre para los operadores la posibilidad de interrumpir o proseguir una marcha automática.

La regularidad del producto pre-reducido, el carácter continuo de la alimentación y de la fusión se prestan más para la automatización del horno eléctrico que el funcionamiento con chatarra, lo que constituye una ventaja sobre este último, y una prueba de la facilidad del empleo de tales productos en condiciones industriales.

3. *Conclusión de los resultados térmicos. — Comparación con la fusión de chatarra.* Luego de este análisis de los resultados obtenidos con diferentes productos pre-reducidos, terminaremos el capítulo con una breve comparación entre esta operación y la fusión clásica de chatarra.

Dentro del marco de nuestros ensayos, el resultado más notable fue el aumento de la velocidad de fusión, que pasa de 2,5 a más de 4 t/h, en tanto que el consumo eléctrico se mantiene en el mismo orden de magnitud (585 kWh/t líquida con chatarras comerciales). Dicho aumento de la productividad se puede considerar como el resultado de las siguientes mejoras:

- a) La carga continua suprime todos los tiempos muertos de la fusión tradicional. No hay cortes de energía para las cargas intermedias.
- b) La estabilidad de los registros de potencia durante la fusión crece, pues el arco se establece sobre el metal líquido. Con un mismo ajuste del transformador, la potencia medida durante nuestros ensayos se mantiene entre 2.500 y 2.600 kW, y durante las fusiones con chatarra sólo alcanza este valor durante períodos limitados cuando la carga está deshecha.
- c) Por último, en el caso del hierro esponja SL/RN, el peso de la escoria de fusión es suficiente para limitar la radiación del arco sobre los refractarios y no es necesario disminuir la potencia al final del período de fusión.

Por último, dichos aumentos de productividad acarrearán una disminución de las pérdidas térmicas, fenómeno sensible en un horno pequeño y que puede compensar parcialmente el suplemento de energía que se necesita para fundir y reducir los óxidos de la carga.

B. *Resultados metalúrgicos.* Los productos pre-reducidos que se utilizaron eran de pureza suficiente para que no hubiera problemas de desulfuración o de desfosforación en un tipo de acero al carbono afinado con una escoria. En tales condiciones, nuestros objetivos metalúrgicos fueron:

- obtener escorias fluidas y pobres en hierro, cosa que fue posible mediante el ajuste de su basicidad entre 1,5 y 2 con adiciones de cal durante la fusión;
- regular el contenido de carbono del metal. Esta operación se hizo desde el momento de la fusión, mediante insuflaciones de coque o grafito en polvo, las que tenían, además, la ventaja de controlar el contenido de hierro de la escoria, y, en consecuencia, la reducción de los óxidos cargados en el horno, como lo señala el cuadro III.

Cuadro III — Influencia del contenido de carbono sobre el contenido de hierro de la escoria durante la fusión.

Contenido de carbono		% de hierro en la escoria Valor promedio	Desviación estándar
O	< (C) < 0,050	25,3	4,2
0,050	< (C) < 0,150	12,9	2,5
0,150	< (C) < 0,300	11,2	3,2
	(C) > 0,300	7,1	2,3

Cuadro IV — Contenido en elementos residuales al término de la fusión.

	Fierro esponja A	Finos A	Fierro esponja B
N	0,0094	0,0068	0,0075
Ni	—	0,010	0,017
Cr	< 0,004	< 0,004	0,009
Cu	0,016	0,015	0,017
Mo	0,002	< 0,002	< 0,002
Sn	0,0068	0,0045	0,004

Cuando los minerales de origen contienen fósforo o azufre, nuestro modo de operación debe ser modificado, y existen por lo menos dos variantes:

- conducir la fusión como la hemos descrito, con un contenido de carbono por lo menos igual a 0,2%, y con escorias de baja basicidad, para reducir el máximo de óxidos de hierro con el mínimo posible de escorias. Las operaciones de desfosforación o de desulfuración deben hacerse, pues, durante el afino, con escorias y técnicas adaptadas, como es el caso de la práctica de insuflar cal y oxígeno, perfeccionada por el IRSID;
- o bien, comenzar el afino desde que empieza la fusión; pero el aumento resultante en el contenido de hierro o de la basicidad trae consigo consumos de cal, pérdidas de hierro, y cantidades de escoria tanto más elevadas cuanto mayor y más ácido sea el contenido de ganga del producto.

La elección entre estas alternativas depende entonces de las condiciones económicas locales y de la composición química del producto.

Otra propiedad de las cargas utilizadas es la de obtener bajos contenidos de elementos residuales, como lo indica el cuadro IV. Dada la naturaleza del mineral que ha sido sometido al tratamiento de reducción directa, estos elementos provienen esencialmente de la carga inicial de chatarra, y sus valores bajos pueden dar a estos productos aplicaciones particulares.

III — Estudio del empleo de mineral pre-reducido en el caso general.

En el capítulo anterior dedujimos la influencia de dos parámetros sobre los resultados de explotación. Se trataba: — del producto, luego de su composición y su pureza;

— del modo de recuperación de la energía, es decir, el modo de operación, el período de elaboración, las dimensiones del horno.

Veamos cómo evoluciona cada uno de ellos en el caso general.

SCHEMA DE PRINCIPE DES BRANCHEMENTS

POUR L'AUTOMATISATION DU FOUR ELECTRIQUE

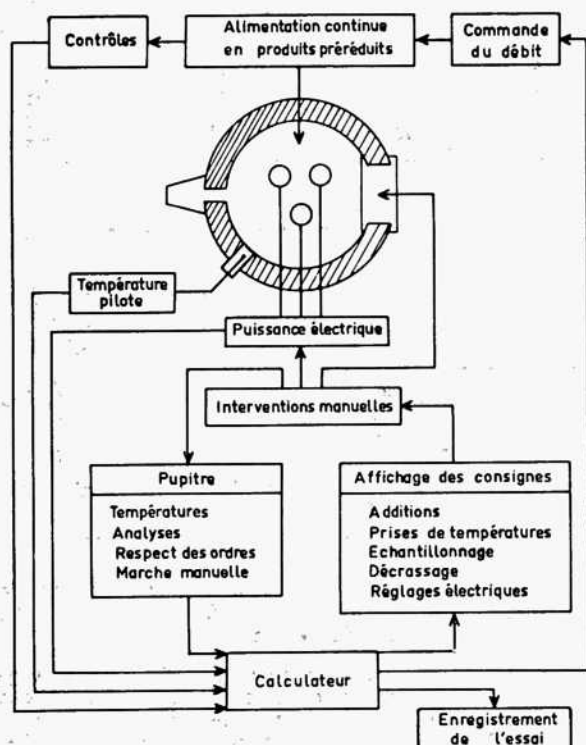


Figura 3 — Esquema básico de las conexiones para la automatización del horno eléctrico.

Contrôles = controles; alimentation continue en produits pré-réduits = alimentación continua de productos pre-reducidos; commande du débit = regulación del flujo; température pilote = temperatura piloto; puissance électrique = energía eléctrica; interventions manuelles = intervenciones manuales; pupitre = consola; températures = temperaturas; analyses = análisis; respect des ordres = cumplimiento de órdenes; marche manuelle = funcionamiento manual; affichage des consignes = tablero de órdenes; prises de températures = toma de temperaturas; échantillonnage = muestreo; décrassage = eliminación de escoria; réglages électriques = ajustes eléctricos; calculateur = computador; enregistrement de l'essai = registro del ensayo.

1. *Influencia del producto.* Un producto pre-reducido puede caracterizarse por su composición química que determina las necesidades teóricas para fundir este material con el fin de obtener un metal de composición dada (0,3 por ciento de carbono, por ejemplo). El conjunto de variaciones de las necesidades teóricas para fundir una tonelada de producto pre-reducido se encuentra en la figura 5. Un producto metalizado, tal como lo hemos empleado, corresponde a valores de W del orden de 420 a 500 kWh/t de metal líquido.

En la carga hay que tener en cuenta igualmente la chatarra que está siempre oxidada. En nuestros ensayos estimamos en 400 kWh/t líquida el valor de W que correspondía a la chatarra comercial utilizada.

La suma de las necesidades teóricas de fusión para la chatarra y el hierro esponja permite entonces obtener una buena aproximación de las necesidades totales de fusión.

2. *Influencia del rendimiento del horno.* La influencia del horno y de determinado modo de operación se resume en la relación entre la potencia eléctrica utilizada (P_e), y la potencia útil recuperada (P_u) que tiene la forma:

$$P_u = A P_e - B$$

El problema está entonces en conocer A y B en el caso general. Sin entrar en un estudio que excede los límites del presente trabajo, podemos decir que A queda determinado por las pérdidas eléctricas y el rendimiento del arco. Su valor varía entre 0,85 durante la fusión y 0,5 durante el calentamiento del metal líquido. Por el contrario, B es independiente del nivel de potencia utilizado y del modo de operación. Es un parámetro que depende de las dimensiones del horno.

Si se establece cierto número de parámetros suplementarios, como la pureza del producto (P y $S < 0,015$), la potencia instalada, la tasa de utilización del transformador para la fusión de chatarra, es entonces teóricamente posible calcular los resultados de explotación para hornos de diversas dimensiones y con productos pre-reducidos de distintas composiciones químicas. El conjunto de cálculos se efectuó con un ordenador CAE 510 y se encuentra resumido en la figura 6.

3. *Resultados y conclusiones.* Los resultados de nuestros cálculos se resumen en las figuras 5 y 6, cuyo interés práctico consiste en estimar los resultados de un horno que utiliza cargas con elevado porcentaje de hierro esponja. Tomemos un ejemplo: que un producto pre-reducido sea definido por:

- un contenido de ganga de 5%, compuesta de sílice y alúmina;
- un contenido de oxígeno en forma de óxido de hierro: 1%;
- contenidos de fósforo y azufre inferiores a 0,025%.

Las necesidades teóricas para obtener una tonelada de metal líquido a partir de este producto se elevan a 475 kWh (figura 5). Si la carga metálica se compone de 20% de chatarra, las necesidades teóricas de la carga son, entonces:

$$W = (0,8 \times 475) + (0,2 \times 400) = 460 \text{ kWh/t metal líquido.}$$

Si se funde esta carga en un horno de 50 t provisto de un transformador de 15 MVA, su productividad será de 15 t/h con un consumo eléctrico de 665 kWh/t de metal líquido.

Estos cálculos permiten conocer, igualmente, los defectos que tiene reemplazar la chatarra por mineral pre-reducido, alimentado en forma continua.

Si en el caso general hay que esperar un aumento del consumo eléctrico, con los productos fuertemente metalizados se puede esperar un *aumento sensible de productividad*. El que se presenta en el cuadro V es sobre todo una función de la calidad del producto. Es importante observar que la cifra de 45%, que resulta de nuestros cálculos con productos cuya tasa de metalización es superior a 95%, fue confirmada en condiciones industriales en Edmonton, en hornos de 15 y de 25 t, y en un horno norteamericano de 75 t (5). Como ya lo habíamos observado en el curso de nuestros ensayos, este resultado se debe principalmente al aumento en las potencias eléctricas medias durante la fusión, gracias a mejores condiciones en que se forma el arco eléctrico, pero es preciso destacar que nuestros cálculos se hicieron para hornos clásicos y que convendría hacer algunas correcciones para los hornos que utilizan las técnicas de muy alta poten-

CONDUITE AUTOMATISEE D'UNE OPERATION

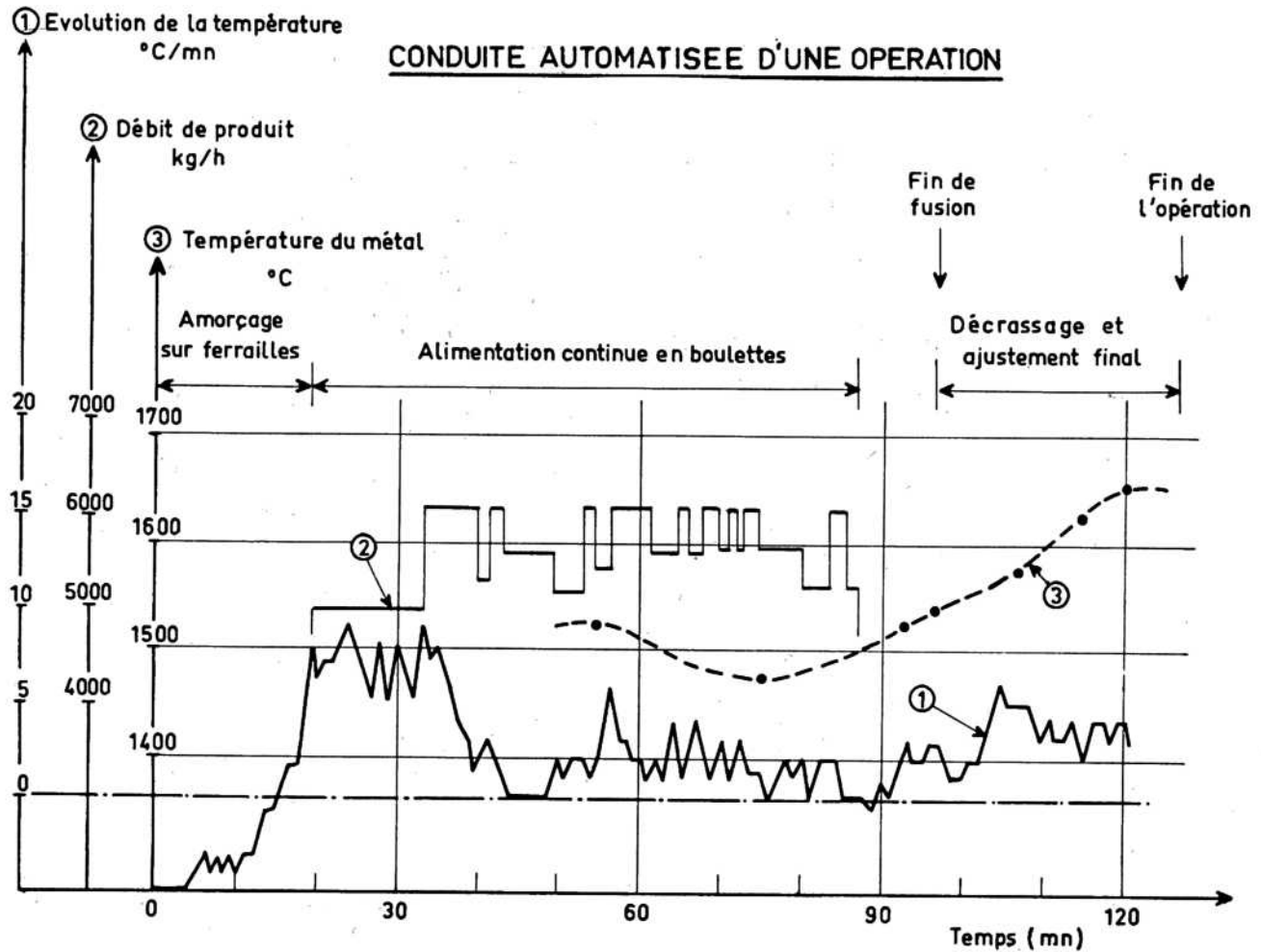


Figura 4 — Conducción automatizada de una operación.

Evolution de la température = evolución de la temperatura; débit de produits = flujo del producto; température du métal = temperatura del metal; amorçage sur ferrailles = comienzo de la operación con chatarra; alimentation continue en boulettes = alimentación continua de hierro esponja; fin de fusion = fin de la fusión; fin de l'opération = fin de la operación; décrassage et ajustement final = eliminación de escoria y ajuste final; temps = tiempo.

CHALEUR THEORIQUE DE FUSION D'UN PRODUIT PREREDUIT

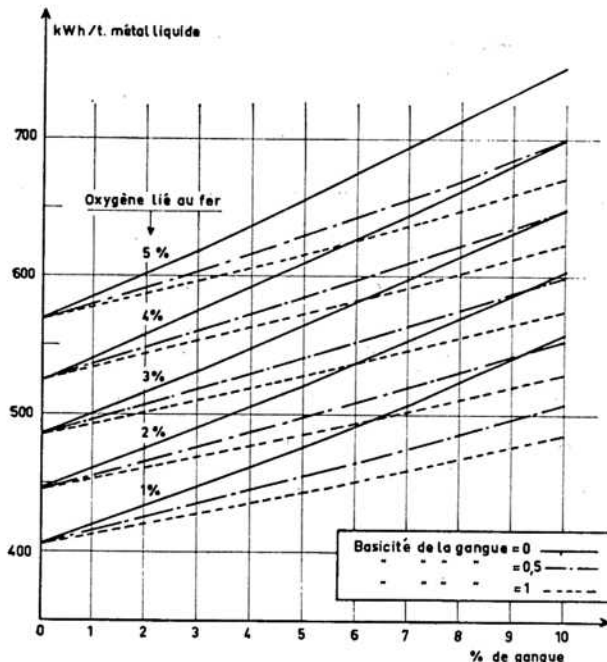


Figura 5 — Calor teórico de fusión de un producto pre-reducido. Métal liquide = metal líquido; oxygène lié au fer = oxígeno unido al hierro; basidité de la gangue = basicidad de la ganga; % de gangue = % de ganga.

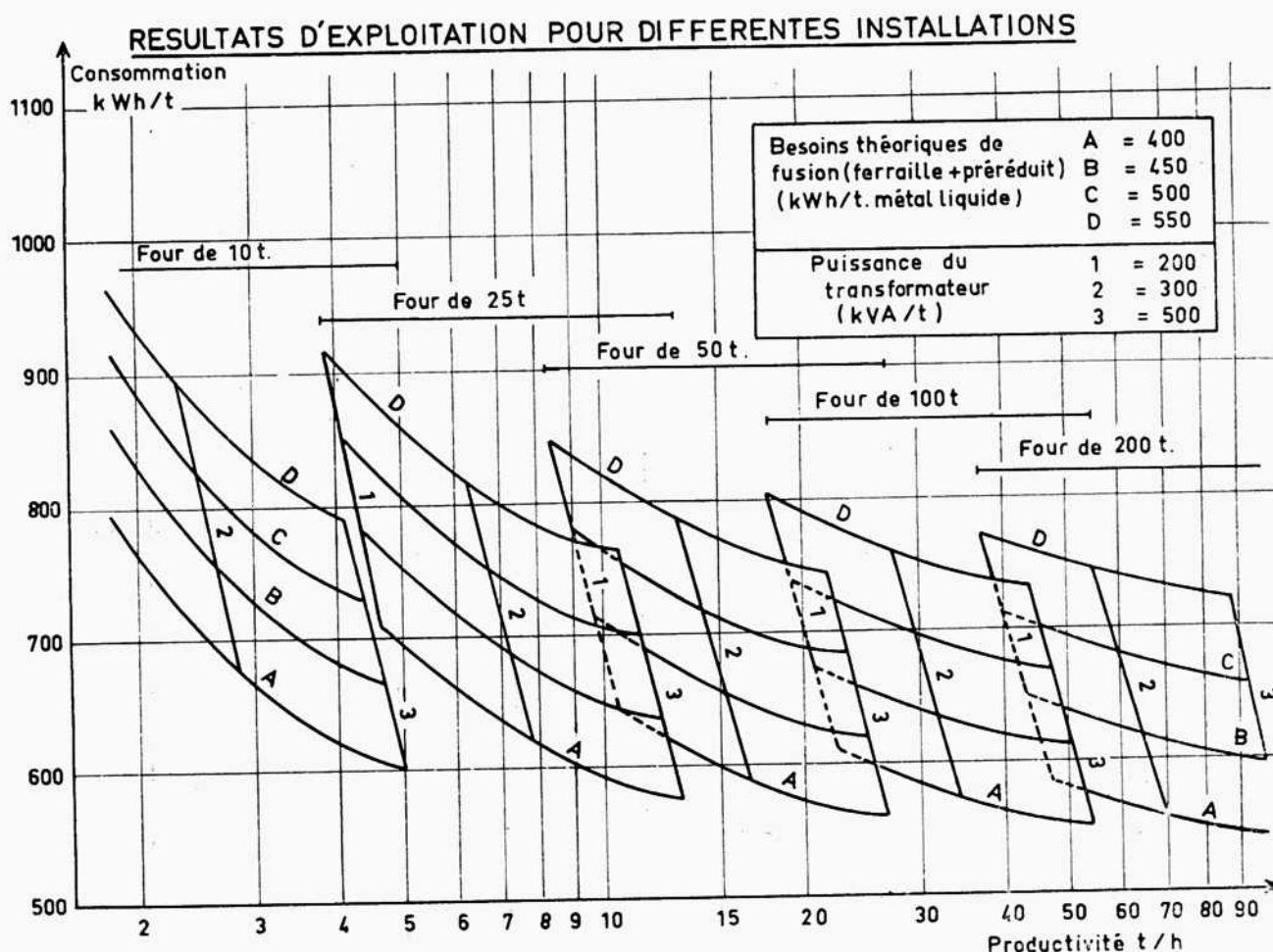


Figura 6 — Resultados de explotación en diferentes instalaciones. Consommation = consumo; besoins théoriques de fusion (ferraille + préréduit) = necesidades teóricas de la fusión (chatarra + pre-reducido); métal liquide = metal líquido; puissance du transformateur = potencia del transformador; four de..... t; horno de..... t; productivité = productividad.

cia; efectivamente, en la alta medida en que estas técnicas traen por sí mismas un mejoramiento de la tasa de utilización del transformador, tendrían como efecto una disminución del aumento de productividad derivado del reemplazo de la chatarra por productos pre-reducidos. El desarrollo de las técnicas llamadas "UHP", que se anuncia para los próximos años, permitirán precisar este punto (8).

Cuadro V — Aumentos relativos de productividad acarreados por el reemplazo de la chatarra por productos pre-reducidos de buena calidad, alimentados en forma continua.

Necesidades teóricas W (kWh/t líq.)	Potencia instalada (MVA/t)		
	0,2	0,3	0,5
450	45,5 %	45,6 %	45,3 %
500	35,5 %	35,3 %	35,5 %
550	26,8 %	26,1 %	26,9 %

IV — Aspectos económicos del empleo de productos pre-reducidos en el horno eléctrico.

Luego de este estudio térmico y metalúrgico de la utilización de los productos pre-reducidos, vamos a tratar de concluir con algunas indicaciones acerca de la economía de dichas cargas.

Una de las formas de enfocar este problema podría ser la comparación de los esquemas posibles de elaboración del acero a partir de mineral, escogiendo entre el alto horno y la acería de conversión, por un lado, y la pre-reducción y el horno eléctrico, por otro. Dada la complejidad de semejante estudio, nos limitaremos a la comparación entre el empleo de chatarra o de productos pre-reducidos en el horno eléctrico, la que se puede realizar desde dos ángulos distintos.

Puede tratarse del reemplazo de la chatarra por productos pre-reducidos en una acería existente, cuya producción se piensa aumentar. Ello puede involucrar una modificación en las instalaciones que siguen al horno (nave de colada, laminadores).

El segundo caso es el de la construcción de una acería eléctrica nueva y se trata de comparar dos plantas diferentes para asegurar la misma producción con chatarra o con mineral pre-reducido.

INFLUENCE DE LA TENEUR EN OXYGENE DU PRODUIT PREREDUIT
SUR SON PRIX D'EQUILIBRE

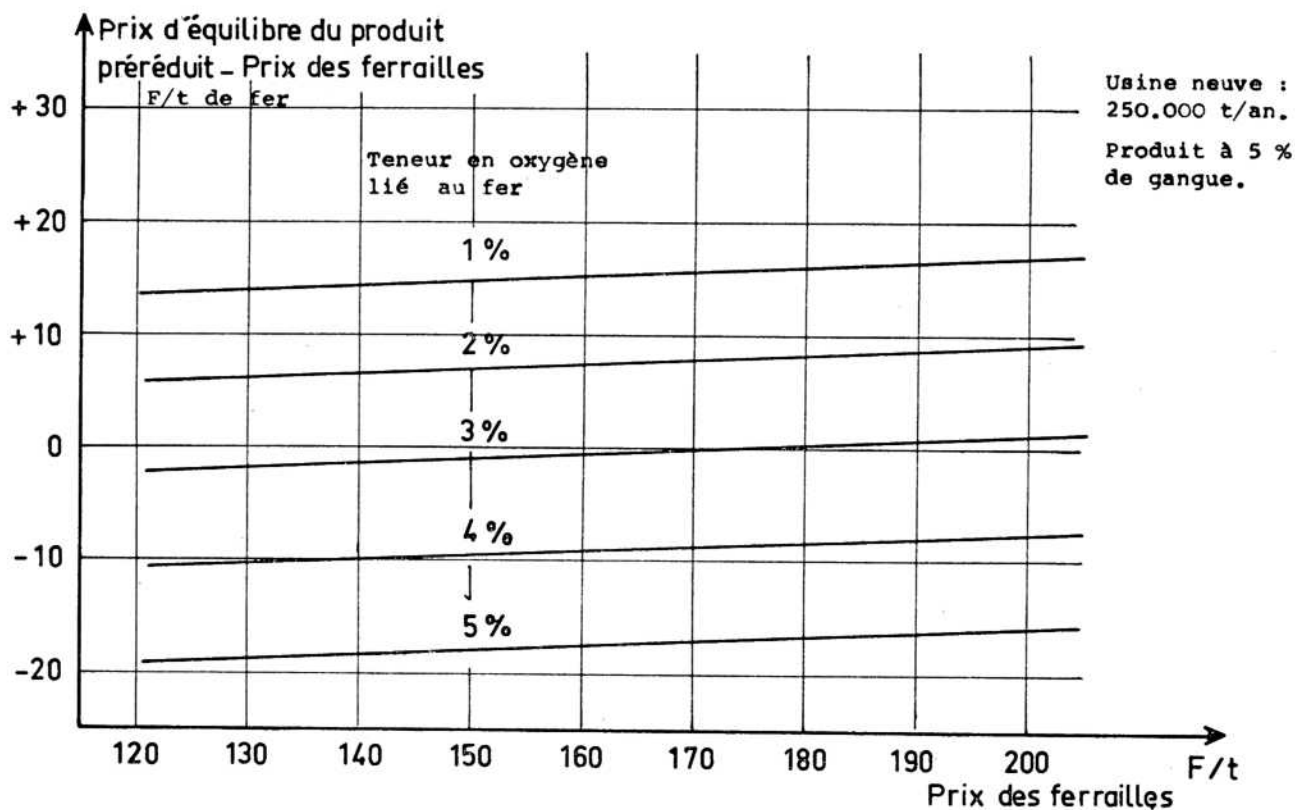


Figura 7 — Influencia que ejerce el contenido de oxígeno del producto pre-reducido sobre el precio de equilibrio de éste.

Prix de équilibre du produit préreduit = precio de equilibrio del producto pre-reducido; prix des ferrailles = precio de la chatarra; teneur en oxygène lié au fer = contenido de oxígeno unido al hierro; usine neuve = planta nueva; produit à 5 % de gangue = producto con 5% de ganga.

Es evidente que el primer caso es un estudio específico de cada planta, difícil de enfocar aquí. Por eso analizaremos en seguida solamente el caso de las plantas nuevas.

Buscamos, pues, los precios de equilibrio de los productos pre-reducidos, precio por encima de los cuales ya dejan de ser competitivos en relación con la chatarra, para obtener en cada caso el mismo costo en el acero líquido en la cuchara.

Los cálculos, que utilizan los resultados de explotación obtenidos con los hornos de los diversos casos que se han descrito en el capítulo anterior, se hicieron en un computador CAE 510. Dado el gran número de parámetros que determinan el precio de equilibrio de la carga, aquí daremos sólo los principales resultados, partiendo de algunos ejemplos precisos.

Escogimos para este estudio el caso de una planta de 250.000 t/año. Esta producción se podría asegurar mediante 2 hornos de 90 t, cargados con chatarra, o 2 hornos de 60 a 75 t, alimentados en forma continua con mineral pre-reducido, según la composición del producto.

En las figuras 7 y 8 presentamos los resultados de este ejemplo, para separar mejor la influencia de la ganga de la del oxígeno de los óxidos de hierro.

La figura 7 muestra la influencia que ejerce el contenido de oxígeno del producto, por tanto, la importancia de la pre-reducción. Dicho porcentaje influye de manera lineal sobre el precio de equilibrio del producto (alrededor de 8 F por % de oxígeno), cosa que era previsible en el estudio de las necesidades térmicas W. Es una diferencia importante en relación con los costos de la pre-reducción, los que aumentan más rápidamente que la tasa de metalización.

La influencia del contenido de ganga del producto sobre el precio de equilibrio es relativamente poca, comparada a la de la tasa de metalización, pero aumenta cuando crece el contenido de elementos estériles.

Este punto, que traduce la doble influencia de la ganga sobre el peso de las escorias y sobre las pérdidas metálicas, muestra el interés que puede presentar en ciertos casos un tratamiento de enriquecimiento del mineral inicial.

La figura 9 muestra cómo evolucionan estos resultados en plantas de distintas capacidades. El crecimiento del tamaño de la planta reduce el campo de competitividad de los productos pre-reducidos, si el número de hornos es igual para los dos tipos de carga. De todos modos, dicha influencia sigue débil frente a la de la composición química del producto.

INFLUENCE DE LA TENEUR EN GANGUE DU PRODUIT PREREDUIT
SUR SON PRIX D'EQUILIBRE

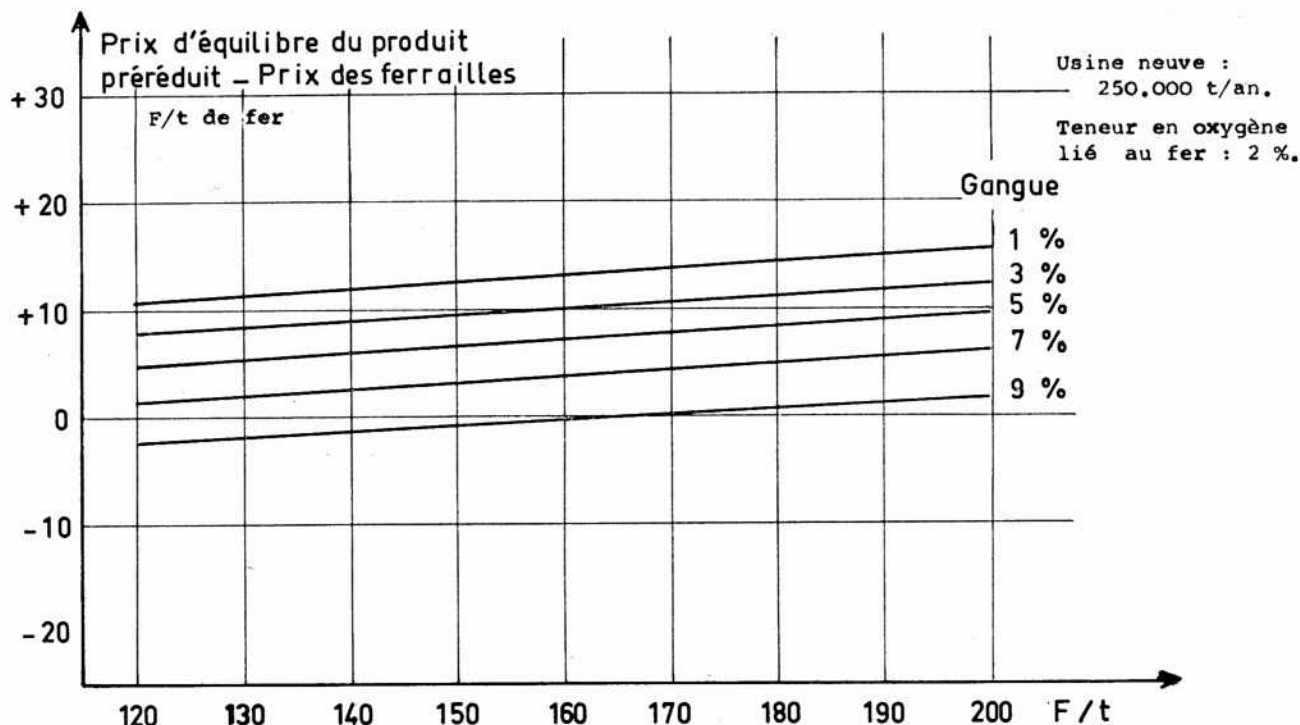


Figura 8 — Influencia que ejerce el contenido de ganga del producto pre-reducido sobre el precio de equilibrio de éste.

Prix d'équilibre du produit préréduit = precio de equilibrio del producto pre-reducido; prix des ferrailles = precio de la chatarra; F/t de fer = F/t de fierro; usine neuve = planta nueva; teneur en oxygène lié au fer = contenido de oxígeno; unido al fierro; gangue = ganga.

El resultado es idéntico si se aumenta la potencia específica de los hornos, pues, igual que con los hornos de gran tamaño, esta evolución trae consigo una disminución en las ventajas que acompañan al funcionamiento con fierro esponja, tales como la reducción de las pérdidas térmicas, de los gastos en mano de obra, o de los cargos fijos. Sin embargo, se puede modificar este resultado si el empleo de productos pre-reducidos se puede efectuar con un horno menos.

En una planta existente, algunas de estas conclusiones pueden ser objetadas si el fin que se persigue es aumentar la producción con el costo más bajo. Así es como la empresa HyL mostró las ventajas obtenidas en Monterrey con el empleo de las técnicas de alta potencia (9), pero es indudable que en el cuadro de las plantas existentes la composición química del producto desempeñará siempre un papel determinante.

Conclusiones.

En el horno eléctrico de 6 t de la Estación de Ensayos de Maizières estudiamos la fabricación de aceros con una escoria, utilizando cargas compuestas de 80% de minerales pre-reducidos SL/RN, y pusimos en práctica una técnica de fusión continua que consiste en mantener, entre los tres electrodos, una pila de producto sin fundir, permanentemente renovado mediante la alimentación por el centro de la bóveda.

La distribución continua del producto mejora la tasa de utilización del transformador, en duración y potencia, y nos permitió aumentar las velocidades de fusión de 2,5 a 4 t/h, en el horno de 6 t de Maizières, con un producto que contiene 5 a 8% de ganga, y una tasa de metalización superior a 95%. Los resultados de los ensayos realizados con los hornos industriales confirmaron las conclusiones que habíamos sacado de nuestros propios ensayos.

Dada la composición química de los productos empleados, los contenidos de P y S que habitualmente se desean para determinado tipo de acero, con una escoria, se alcanzan frecuentemente junto con el término de la fusión; el afino se convierte en un simple calentamiento y un ajuste final para el vaciado.

La regularidad de las operaciones y nuestro modo de operación nos permitieron experimentar con la automatización de la fusión, lo que confiere gran seguridad a estas prácticas.

A partir del estudio de los diferentes regímenes térmicos de la operación, establecimos un método de cálculo de los resultados de explotación en el caso general. En su aplicación podemos estimar ciertos elementos para establecer una comparación económica de las cargas de chatarra y de fierro esponja en el horno eléctrico. La determinación de los precios de equilibrio del mineral pre-reducido en el caso de una acería que produce 250.000 t/año muestra la importancia que tiene la cali-

**INFLUENCE DE LA TAILLE DE L'ACIERIE
SUR LE PRIX D'EQUILIBRE DU PRODUIT PRE-REDUIT**
(Usine neuve à 2 fours - Analyse du produit 0 = 2 % - G = 5 %)

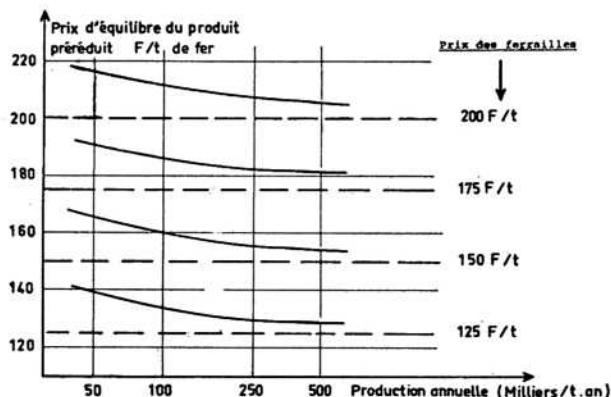


Figura 9 — Influencia que ejerce el tamaño de la acería sobre el precio de equilibrio del producto pre-reducido.

Usine neuve à 2 fours = planta nueva de 2 hornos; analyse du produit = composición química del producto; prix d'équilibre du produit pré-réduit = precio de equilibrio del producto pre-reducido; F/t de fer = F/t de fierro; prix des ferrailles = precio de la chatarra; production annuelle (milliers t. an) = producción anual (miles de t. al año).

dad del producto utilizado, que no siempre será posible obtener en forma económica a nivel del taller de pre-reducción.

Es preciso agregar que estas conclusiones son válidas solamente para una categoría limitada de productos pre-reducidos, utilizados en el horno eléctrico según un modo de operación determinado. Sin embargo, cúidese el lector de conceder un valor absoluto a dichos resultados, pues pueden verse afectados por los importantes adelantos que hoy se observan en el horno eléctrico.

BIBLIOGRAFIA

1. FITZGERALD (E. J.). Sponge iron for the electric furnace. Journal of metal, juin 1963, n° 6, p. 437-442.
2. PEREZ AYALA (J. L.). BRYAN (E. A.), HUGHES (H. N.). Electric furnace steelmaking with sponge iron. Iron and Steel Engineer — Aout 1963, p. 69-77.
3. ASTIER (J.). La réduction des minerais de fer et l'utilisation en aciérie des éponges de fer ou des minerais réduits. Revue de Métallurgie, octobre 1960, n° 10, p. 867-880.
4. ANTOINE (J.). DUMONT-FILLON (J.). Elaboration d'acier au four à arc à partir de minerai pré-réduit chargé en continu. Résultats des essais effectués à la Station pilote de l'IRSID. Congrès International sur la production et l'utilisation des minerais réduits. — Evian, mai 1967.
5. SIBAKIN (J. G.). HOOKINGS (P. H.). ROEDER (G. A.). Electric arc steelmaking with continuously charged reduced pellets. Congrès International sur la production et l'utilisation des minerais réduits — Evian, mai 1967.
6. RAVENSCROFT (J.). MC GEE (L.). Heat transfer investigations and development of the automatic control of power input on the BISRA 10 cwt arc furnace — JISI (mai 1959), p. 34-39.
7. ANTOINE (J.). BASILIS (J.). COLLET (P.). DUMONT-FILLON (J.). Utilisation d'un calculateur numérique pour la conduite de la fusion de produits pré-réduits au four électrique d'aciérie. Journées d'Automne — Paris 1968 — A paraître.
8. ROBINSON (G. G.). SCHAWBE (W. E.). Ultra high power electric steel furnace operation. Journal of Metals, janvier 1965, p. 75-80.
9. QUINTERO FLORES (R.). Application of ultra high power to HyLSAS'S electric furnace. Iron and Steel Engineer — avril 1968, p. 81-85.

Síntesis de los debates originados durante la Sesión Técnica N° 3

Respecto de la Conferencia del Sr. J. W. Brown.

J. W. Brown — Para atender las preguntas está aquí el señor Arnold Sleeper, gerente de Tecnología del Horno Eléctrico, de manera que toda pregunta relacionada con el funcionamiento del mismo serán contestadas por el señor Sleeper.

J. Ciotti — Tengo varias preguntas relativas al trabajo expuesto: 1°) ¿cuáles son las condiciones eléctricas óptimas y qué importancia tienen en el funcionamiento de un horno de arco? 2°) ¿qué quiere decir una configuración mejorada de las barras colectoras en el diseño del horno? 3°) ¿en qué forma la combinación de ambos factores afecta la capacidad global de producción de un horno de arco? 4°) Por favor, denos más detalles acerca del término "eficiencia eléctrica" y su relación, si la hay, con el factor de potencia de operación de un horno de arco.

A. Z. Sleeper — Contestaré las preguntas del señor Ciotti en el mismo orden que las formuló. La primera se refiere a las condiciones eléctricas óptimas. Puramente como fenómeno eléctrico, la potencia óptima en un punto dado, como es el arco, es un máximo, y se alcanza en aquel punto de un sistema de reactancia cuando la reactancia y la potencia real son iguales, y es la potencia resultante menos las pérdidas de potencia. Esto significaría, en un horno de arco, que se trabajaría con un nivel de corriente inferior al nivel de corriente que daría la potencia máxima al sistema. Pero en el horno de arco, sin embargo, gran parte de la pérdida $I^2 R$ se produce en los extremos inferiores de los electrodos, aumentando el calor que pasa al proceso, por lo que una definición pura de la potencia máxima no sería válida. Se sugeriría que el sistema trabaje más cerca de la situación de potencia máxima indicada, para una mayor estabilidad y utilizar esta pérdida aparente $I^2 R$.

La pregunta número dos y también la tres se refieren a la configuración mejorada de las barras colectoras. Los hornos tradicionales se construían con barras secundarias. Para entrar otra vez en la teoría eléctrica sin maltratarla, donde los tres conductores de todo sistema trifásico van uno al lado del otro, hay interferencias y ayudas mutuas entre las tres fases, con el resultado de que la potencia que llega al arco no es uniforme, porque una fase presenta una resistencia aparente más elevada que otra al flujo de la corriente, de manera que hay menor voltaje disponible en un terminal de arco que en otro, y resulta materialmente imposible obtener una distribución uniforme de potencia con una configuración convencional de las barras colectoras. En este entendido, los fabricantes de hornos han dado con una configuración que las firmas fabricantes de barras conocen ya hace muchos años: una disposición triangular, en otras palabras, colocando las barras formando un triángulo equilátero, de manera que se obtiene un voltaje igual en el extremo del electrodo, y por tanto una potencia uniforme en el arco. Si se trabaja en niveles de potencia muy elevados, el concepto de potencia ultra-elevada, se hace muy necesario tener una distribución uniforme de potencia; de otro modo, la llamada fase caliente, o fase central, o ambas, fundiría la chatarra de las paredes muy pronto, y sería preciso continuar con un consumo relativamente alto de potencia para despejar las otras paredes, de modo que tendríamos una elevada pérdida de energía, y además un severo

desgaste de los refractarios. Esta distribución de potencia se consigue por la configuración uniforme o equilátera de las barras; todo forma parte integrante del concepto de la potencia ultra-elevada. Los cables enfriados por agua lo han hecho posible, o han contribuido en este campo.

Quisiera comparar la eficiencia con los factores de potencia, tema de la cuarta pregunta. Para nosotros la eficiencia eléctrica es la potencia medida a la entrada del circuito, en comparación con la energía que realmente llega al proceso. Sobre esta base, el horno de arco trabaja normalmente a 90% de eficiencia; en otras palabras, un 10% de la energía se pierde en calor en las barras colectoras. El factor de potencia no tiene que ver con la eficiencia, porque esa es una función de lo que se llama potencia devatada, potencia reactiva, y para una mayor estabilidad de la operación uno querría hacer trabajar el horno con un factor de potencia muy cercano a 0.707, que sería el punto de potencia máxima y de mayor estabilidad. No nos preocuparía un factor de potencia tan bajo porque lo sería solamente visto desde el horno. Instalando condensadores entre este y la central eléctrica se obtendría que el factor de potencia fuera 1 para la central eléctrica. Las dos cosas no marchan juntas: eficiencia y factor de potencia.

S. Eketorp — Estoy de acuerdo con el señor Brown en la importancia del horno eléctrico de arco; pero no estoy de acuerdo cuando lo compara con el convertidor al oxígeno; no se le puede comparar, en realidad. Son dos cosas y necesitamos las dos; pueden llegar a ser mitad y mitad dentro de algunos años. En un cuadro vimos una comparación de costo muy favorable al horno eléctrico de arco. Hubiera sido mejor decir que si la chatarra se coloca a cierto porcentaje del precio del arrabio, se obtienen tales y cuales cifras, pero el resultado final no tiene tanto interés, podría variar de un lugar a otro.

J. W. Brown — Estoy de acuerdo, fundamentalmente, en un cien por ciento. El alto horno va a conservar su lugar durante mucho tiempo. El aspecto importante surge cuando se estudia el crecimiento futuro, la expansión futura, pues no me parece que la comunidad siderúrgica mundial pueda mantener la planta siderúrgica tradicional tal como la conocemos, y las inmensas cantidades de dinero invertidas en altos hornos y coquerías. Desde luego que esto depende en gran medida de la capacidad del horno de arco para utilizar directamente alguna forma de mineral de fierro, lo cual ya es una perspectiva que se anuncia y tendremos que pensar en ella más adelante, pues por primera vez en la historia del horno de arco, este puede utilizar las inversiones que ha hecho la industria en la minería. Creo que esto es algo importante. Estoy de acuerdo; los costos de la chatarra, de la energía, todos son variables. Se trata de un ejemplo, un caso real, y los resultados son muy buenos, pero no es más que un ejemplo y se puede jugar con los números como se quiera, y todos pueden hacer lo mismo.

Ch. Urruela — Desde el punto de vista del operador y dado el último intercambio de preguntas y respuestas, naturalmente surgen preguntas en cuanto a las cifras usadas. Para ilustrarnos, le rogaría al señor Brown clarificarnos qué costos se utilizaron en elaborar algunas de las comparaciones de su cuadro: capital, a qué tasa de interés; energía eléctrica, a qué precio por kilovatio hora; oxígeno para uso metalúrgico, a cuántos dólares por tonelada. Con estos

datos, cada cual, de acuerdo con la situación en su país podrá hacer una comparación algo más valedera sobre lo que se está hablando.

J. W. Brown — Como precio de la energía eléctrica empleamos un promedio de un centavo por kilowatt-hora y consumo de 500 kW/h para el acero y 450 kW/h para el arrabio, lo que nos pareció prudente. Como tasa de interés, usamos un 14%, lo que comprende impuestos, depreciación e interés. Para el oxígeno tomamos 5 centavos por 1000 pies cúbicos. Cuando menciono el precio de 1 centavo por kilowatt-hora, incluyo en esa cifra los recargos por demanda. En el balance de chatarra y arrabio, con una relación de 70%-30%, hemos tomado para el arrabio un costo de alrededor de 36 dólares por tonelada corta, y para la chatarra más o menos 28 a 30 dólares por tonelada corta.

E. Michaelis — El señor Clarence E. Sims del Battelle Memorial Institute, publicó un trabajo muy interesante sobre el futuro del horno eléctrico de arco en los próximos veinticinco años, en el número de Febrero de 1968 del Journal of Metals. Al final menciona el ensayo desarrollado para producir electrodos de grano orientado y electrodos con refuerzo de fibra. ¿Podría el señor Brown decirnos algo sobre esto?

J. W. Brown — Lo que puedo decir, ya que no vivo en el laboratorio, es que estamos trabajando sin cesar en mejorar la calidad de los electrodos, especialmente a la luz de la expansión del concepto de ultra-alta-potencia. Hace algunos años perfeccionamos un nuevo electrodo de alta potencia, que llamamos Grado AGX, electrodo de alta densidad, que nos permitió satisfacer las necesidades de estos nuevos hornos de ultra-alta-potencia. Pero no puedo decirle nada preciso acerca de orientación de grano o el uso de fibras.

E. Michaelis — La tendencia general de este trabajo ¿está destinada a reducir el consumo de electrodos?

J. W. Brown — No creo que podamos garantizar una reducción en el consumo de electrodos. Pero estamos obteniendo un beneficio adicional, fuera de hacer viable la expansión del horno eléctrico de arco de ultra-alta-potencia, pues hemos aumentado mucho el amperaje que puede tomar un electrodo de igual diámetro. Al mismo tiempo, estamos tratando de mejorar el aspecto de la resistencia mecánica y en varias plantas de Estados Unidos ha bajado el consumo como consecuencia de una disminución de las fracturas de los electrodos, pero no por concepto de menor consumo propiamente tal.

E. H. Ferri — En el cuadro N° 6 "Comparación de Costos de Producción" entre una fundición de acero de 80.000 t/año y otra de 32.000 t/año, aparece el ítem "metales". Estimo que la diferencia de costo de carga metálica es excesiva: 29,56 dólares en un caso y 36,81 en el otro, a pesar de la diferencia de tamaño de las plantas y de la nota aclaratoria (2) que aparece al pie del cuadro.

J. W. Brown — Se trata de dos casos específicos; los precios de la chatarra varían según la zona geográfica e influye el tipo de pieza de acero moldeado que se produzca. Además, cuando en la carga metálica hay material de retorno, existen diferencias de criterio de los servicios de contabilidad para estimar el precio de estos materiales. Ocurre también, en algunos casos, que se quiera o que se tenga que usar ciertos materiales metálicos por razones que pueden ser de tipo económico o político o de otra índole. De manera pues que el valor de ese ítem puede variar mucho, pero tengo el detalle completo de estos dos casos específicos y están disponibles para cualquier consulta posterior.

Respecto de la Conferencia del Sr. Heinrich Ottmar.

S. Eketorp — La conferencia se refiere al uso del horno eléctrico de arco de alta potencia, pero se nos dijo muy poco

de esto, porque el horno eléctrico de alta potencia no se empleó como tal durante el período a que se refirió el señor Ottmar. Se le usa muy poco. Es asombroso escuchar que ahora tienen ustedes esta herramienta pero no la usan. Se usa en un 50% del tiempo, y el resto del tiempo sirve para efectuar metalurgia que se podría hacer en cualquier otro horno, de baja potencia. La conclusión lógica, desde luego, es que en cuanto se ha fundido el acero, y para eso tienen el horno, para fundir chatarra, o tal vez los pélets, habría que vaciarlo y llevarlo de inmediato a otro horno, o convertidor, o como quieran llamarlo, de baja potencia, para realizar todo el trabajo metalúrgico, esto es: bajar el oxígeno, obtener un bajo contenido de inclusiones de escoria, control de temperatura, control de composición, etc.

En consecuencia, la primera pregunta es, entonces: ¿qué potencia está conectada durante el tiempo de afino? y la segunda ¿no sería una conclusión lógica usar el horno para fundir y no para trabajo metalúrgico?

H. Ottmar — La potencia en el tiempo de afino es hasta de 20 MV. Solamente al final, cuando el afino debe continuar más tiempo, debemos bajar la temperatura. La otra pregunta se refiere a la conveniencia de tomar dos hornos, pero me parece que el traslado de la carga de un horno al otro no es muy práctico, y se pierde mucho tiempo. No puedo decirlo en todos los casos, pero en una planta pequeña como la nuestra no es conveniente hacerlo. No lo sé si en otras plantas lo sea.

M. Sainz — La abertura que se practica en la bóveda del horno, aparte de tener una misión muy preponderante en la desulfuración del baño ¿tiene a su vez alguna misión respecto a los procesos que se realizan dentro del horno?

H. Ottmar — La abertura de la bóveda debe evacuar todo el polvo del horno. Trabajamos con un diámetro máximo de 700 mm, solamente una vez, pero era muy grande y la bóveda no resistió mucho tiempo.

Ch. Urruela — Para responder más directamente a la pregunta, la apertura en sí no cumple otra función sino la relacionada con la desulfuración y la eliminación de humos y polvo del horno.

Respecto de la Conferencia de los señores Antoine, Paquel y Dumont-Fillon, expuesta por el Prof. Jacques E. Astier.

J. C. Pehr — ¿Cuál es el tamaño de los pélets que han utilizado en este procedimiento? Y si fue medida la conductibilidad térmica de estos pélets.

J. Astier — La primera pregunta es la dimensión de los pélets. Pues bien, son pélets de alrededor de 10 a 12 mm, pero como vieron ustedes en los cuadros, también utilizamos finos de pélets, que estaban en la fracción de entre 3 y 6 mm. y se puede igualmente variar entre estas dimensiones, digamos entre 3 y 6, y entre 6 y 12 mm. Hemos hecho también otros ensayos que no se encuentran en este informe, con dimensiones algo mayores, hasta de 20 mm. En cuanto a la conductibilidad térmica, no tengo los valores conmigo, pero puedo decir que los pélets metalizados son un producto que carece de conductibilidad térmica muy elevada, pero la conductibilidad eléctrica es bastante buena.

J. C. Pehr — En la comparación del material pre-reducido con la chatarra, se consideró como precio de esta última, la mejor chatarra posible que usted mencionó, es decir, ¿la chatarra desintegrada? ¿Ha aprovechado todas las ventajas, incluso de los sistemas futuros para carga de chatarra mejores que los actuales?

J. Astier — Nó, para ser exacto, la comparación se hizo con chatarra corriente; pero, claro que la comparación podría modificarse en dos formas: primero sería mejor qui-

zás hacer la comparación con chatarra de mejor calidad, y segundo, hay toda una gama de precios de chatarra, pero por ejemplo, para chatarra de 25 dólares la tonelada, se puede hacer la comparación en el gráfico que han visto. Por otra parte, con pélets pre-reducidos se produce un acero mejor, y entonces, para ser justos, sería mejor comparar con una chatarra de mejor calidad, que cuesta tal vez 30-35 dólares/t. La comparación resulta algo complicada; depende, por cierto, de la calidad del producto que se esté haciendo. Si se produce acero corriente, se puede usar chatarra de tipo corriente; pero si se hace acero de calidad, hay una diferencia.

S. Eketorp — Es interesantísimo y muy difícil comparar desde otro punto de vista: con el alto horno y el LD, digamos, ¿puede decirnos algo?

J. Astier — Habría mucho que decir sobre esto. Por ahora y como comentario, debo señalar que el camino del alto horno y la aceración al oxígeno es sin duda el mejor para la gran producción. Es decir que si se fabrica más de 2 millones de toneladas al año, no cabe duda de que es la única posibilidad. Por otra parte, la vía del horno eléctrico es ciertamente la mejor para una producción menor, del orden, digamos de medio millón de toneladas. Para volúmenes de producción entre los indicados, el caso es debatible. Entonces surge un segundo comentario; no es sólo cuestión de tamaño de las plantas, sino que lo es también de producto. De nuevo, el alto horno y especialmente el convertidor al oxígeno es, sin duda, el mejor camino para fabricar productos planos, que se combina muy bien con el laminador continuo de planos, para el acero de bajo carbono y bajo nitrógeno. El camino del horno eléctrico es también conveniente, sin duda, para un gran número de productos en forma de barras y perfiles, especialmente de acero al carbono. No es una respuesta completa, desde luego, pero da algunos antecedentes.

J. Miller — En cuanto a la mecánica de la alimentación continua, pregunto acerca del impacto sobre tres elementos diferentes. Primero, en la vida del revestimiento; segundo, en la resistencia de la bóveda; y tercero, en cuanto a la generación de gases y su eliminación. En los Estados Unidos nos preocupa mucho, y creo que también en Europa, la contaminación de la atmósfera. Los problemas son, entonces: ¿debilitamos la bóveda? ¿atacamos el revestimiento? y ¿contaminamos la atmósfera?

J. Astier — En cuanto al revestimiento su comportamiento es muy bueno. En cierto modo, al usar pélets metalizados, se absorbe gran cantidad de calor en el centro del horno mismo, y además se obtiene cierto grado de protección con la escoria: según nuestros ensayos, se obtiene una clara disminución en el consumo de revestimiento. En cuanto a la bóveda, eso es más complicado. Tenemos efectos en ambas direcciones. En cierto modo, tenemos menos radia-

ción del arco, debido al sistema de alimentación, pero —y aquí paso a la tercera pregunta— se tiene producción de polvo que produce cierto grado de ataque. De nuestros ensayos se desprende que el segundo efecto no es más serio que en un horno normal con chatarra. Sin embargo, debo decir que el número de ensayos ha sido limitado, y que no tenemos verdadera experiencia con un horno grande, con una campaña continua de larga duración. Sin duda que esto hay que estudiarlo y supongo que se realizarán ensayos, probablemente en los Estados Unidos y Canadá, los que podrían resolver el problema.

P. M. Bohomoletz — Voy a hacer una pregunta algo más general, desde el punto de vista de un productor potencial de aglomerados pre-reducidos. En mi opinión, el mercado de este tipo de material para el horno eléctrico no es muy estimulante todavía, como dijo el señor Jack Miller, pero si se piensa combinar la limitación de los altos hornos, y una pequeña fracción para los otros hornos, y una fracción para el horno eléctrico, se puede crear un mercado más interesante. Entonces yo le pediría que me dijera: en cuanto a las propiedades físicas o químicas y mecánicas de esos productos para el alto horno y para el horno eléctrico, ¿serán las mismas o habrá diferencias? ¿qué diferencias serán esas? Con respecto al tamaño ya respondió, pero con referencia a la densidad o la porosidad, la resistencia a la compresión, los grados de reducción más convenientes, en términos de dólar/ton y, por ejemplo, ¿qué medidas contra la reoxidación se podrán tomar o convendrá tomar en las plantas?

J. Astier — Hay una gran diferencia en cierto aspecto: el horno eléctrico no es un aparato de reducción y evacuación de escoria, al menos en condiciones normales, y en este caso pienso que los fabricantes de acero querrán que los pélets o el mineral pre-reducido no tenga mucha ganga. Es indudable que el alto horno podrá aceptar cantidades de ganga mucho más elevadas. Allí puede haber cierta diferencia. En cuanto a las otras propiedades, propiedades físicas, la resistencia especialmente, creo que en conjunto, se puede decir que los operadores de alto horno siempre tendrán exigencias algo más estrictas, porque quieren productos de granulometría muy precisa, de resistencia mecánica elevada. A pesar de todo, la diferencia no ha de ser mucha.

Ch. Urruela — Quisiera únicamente añadir un solo punto a la consideración de ustedes. Me refiero en especial al debate que ha surgido respecto al horno eléctrico comparado con el esquema alto horno-aceración al oxígeno. Hay que tomar en cuenta los recursos naturales del área y la incidencia que tiene en el desarrollo de la industria siderúrgica latinoamericana la falta, en muchos de los países, de carbón apto para producir coque para el alto horno, y la disponibilidad que tenemos, en la mayoría de los países o buen número de ellos, de gas natural y de ingentes recursos hidroeléctricos, desarrollados o no.

Temas Varios

Comentario introductorio.

Fuera de las sesiones de trabajo sobre Temas Técnicos Oficiales del Congreso se verificó una dedicada a Temas Varios en la cual se presentaron diversos trabajos enviados por iniciativa propia de los respectivos autores y que fueron seleccionados por un Comité ad-hoc de la Secretaría General de ILAFA, por considerarlos de interés general para los asistentes al Congreso.

Presidió la sesión de trabajo el Sr. Argenis Gamboa, de la Cia. Siderúrgica del Orinoco, SIDOR, de Venezuela y como Presidente de Debates actuó el Ing. José Alvarez, de Hojalata y Lámina S. A. de México. Esta sesión tuvo lugar el Jueves 19 de Septiembre a partir de las 9 horas.

Los trabajos presentados fueron los siguientes y en el orden que se indica:

- “Producción de energía en plantas siderúrgicas integradas tomando en consideración las condiciones en América Latina” por el Dr. Hans Weineck, Presidente del Comité de Economía Energética y Técnicas Térmicas del Verein Deutscher Eisenhüttenleute.
- “Puesta en marcha y operación de la máquina de colada

continua en Chimbote” por los Ingenieros Carlos Beingolea de Sociedad Siderúrgica de Chimbote, SOGESA, Perú y Jobst Wasmuth de Concast, Suiza y cuya presentación oral hizo el Ingeniero Beingolea.

- “Propiedades de los materiales que forman la carga del horno alto” por el Dr. F. J. Asensio del Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas, CENIM, España.
- “Acero para herramientas; su fabricación, sus propiedades y su importancia práctica” por el Dr. Werner Krebs, de la Deutsche Edelstahlwerke, Alemania. En ausencia del autor, hizo la presentación oral el Ingeniero Wolfgang Oertel.
- “Empleo de aceros especiales en un centro de investigaciones metalúrgicas” por los Ingenieros Franco Federici y Franco Cepolina, ambos de la Società Italiana Impianti, Génova, Italia — El Ingeniero Cepolina estuvo a cargo de la presentación oral del trabajo.

Se incluye en el presente Informe el texto completo de dichos documentos y una síntesis del debate que hubo sobre algunos.

La producción de energía en las plantas siderúrgicas integradas, tomando en cuenta las condiciones latinoamericanas

por: Dr. Hans Weineck

1. La importancia de la producción de energía en las plantas siderúrgicas integradas.

La producción de energía de una planta siderúrgica integrada debe satisfacer todas las demandas al menor costo, y considerando debidamente la cantidad y calidad. La siderúrgica integrada debe comprar las fuentes primarias de energía, como el carbón y petróleo, que producen las fuentes secundarias de energía, como el coque y el gas de coquería; los productos asociados, como ser el gas de alto horno, se aprovechan bien, y se necesitan además otras fuentes (terciarias) de energía: corriente eléctrica, aire comprimido, vapor, oxígeno. La energía térmica perdida, como el calor del gas de desecho y el vapor perdido, se recirculan en la medida que resulta económicamente posible.

Por ejemplo, en el Cuadro 1 se muestra el excedente de energía de los productos asociados, en la producción de acero de una siderúrgica integrada del Ruhr: sólo con el gas de alto horno y el gas de coquería se puede producir más corriente que lo que necesita la planta; los productos secundarios y los polvos determinan excedentes que deben ser entregados a los servicios de utilidad pública.

Hace años ya que las numerosas integraciones generalizaron la necesidad de establecer modelos de energía y costos para la siderúrgicas integradas, con el fin de cumplir en forma óptima las exigencias señaladas al comienzo: bajo costo, calidad adecuada. Esto es posible, en principio, y en diversas plantas e instituciones se han establecido fórmulas basadas en las relaciones técnicas y económicas, que indican que se puede realizar una programación. Pero los gastos previos y luego los corrientes serían muy elevados si se quiere establecer un modelo auténtico capaz de responder acertadamente a todas las preguntas importantes, y sólo así tendría sentido hacerlo. Cualquiera limitación significaría dar al modelo un valor académico, pero poco práctico. De modo que el problema de la producción de energía con fines metalúrgicos debe ser analizado siempre por un especialista competente, con conocimientos técnicos y económicos.

Aparte los últimos 5 a 10 años, en que la energía de todas clases ha sido un bien económico permanente en Europa el suministro de energía no ha sido en modo alguno sencillo, sino abiertamente difícil. Por este motivo el suministro de energía despertó muy pronto un interés especial, y todas las fuentes de energía se emplearon lo más económicamente posible. Aún hoy, en que hay un suministro de energía variado y en condiciones relativamente favorables, se estudia con especial atención la producción de energía en las plantas siderúrgicas. El costo de la energía por tonelada de acero crudo producido va

desde 60 a sobre 100 DM, esto es, entre el 15 y 25%, según la ubicación de la planta, el suministro de materias primas y el grado de elaboración. El consumo específico de energía en la industria productora de acero, en toneladas de unidades de carbón mineral, por cada 1.000 DM de valor neto de producción, pasa de 3 contra 1,5 en la industria de los refractarios y arenas de molde, 0,8 en la industria química, 0,5 en la industria manufacturera, y 0,2 en la industria de bienes de capital.

Por estas razones espero despertar interés con la siguiente descripción del desarrollo y estado actual de la producción de energía en Europa, procurando al mismo tiempo, y por cierto deficientemente, considerar también las circunstancias latinoamericanas.

2. Desarrollo y estado de la producción de energía en las plantas siderúrgicas europeas.

La producción de energía en las plantas siderúrgicas tuvo su origen en los duros años que siguieron a la guerra mundial de 1914-18. En esa época la producción dependía de las fuentes existentes de energía, ante todo del carbón, y el empleo económico de ellas tenía vital importancia. Por ejemplo, las necesidades de energía y calor de un laminador bajaron en dos años de 4,2 Gcal a 2,6 Gcal por tonelada de producto terminado, es decir, el 62%.

En la misma época todas las siderúrgicas alemanas y también el Verein Deutscher Eisenhüttenleute formaron departamentos de producción de calor, que se llamaron "departamentos térmicos", con el propósito de ocuparse de todas las materias relacionadas con la producción regular de energía. Como ha aumentado la importancia de la producción de energía y calor, se han extendido estos departamentos y se ha aumentado su campo de actividad. Todas las plantas siderúrgicas cooperan dentro del Verein Deutscher Eisenhüttenleute, lo que ha contribuido en gran medida al elevado nivel técnico del suministro de energía en nuestras plantas.

Pero no es mi intención dar mayores detalles ahora acerca del desarrollo en nuestro país, sino que lo demostraré con dos cifras características. El consumo de energía térmica se define como la suma del consumo de calor para la producción, a partir de corriente propia, y de vapor para la generación de energía (corriente, viento, aire comprimido, oxígeno), incluyendo el calor para la producción obtenida con la corriente comprada. Por ejemplo, se incluyen también las necesidades de energía de los soplantes del alto horno. En la figura 1 se muestra el consumo específico de energía térmica de una planta sobre la producción de acero crudo, en porcentaje.

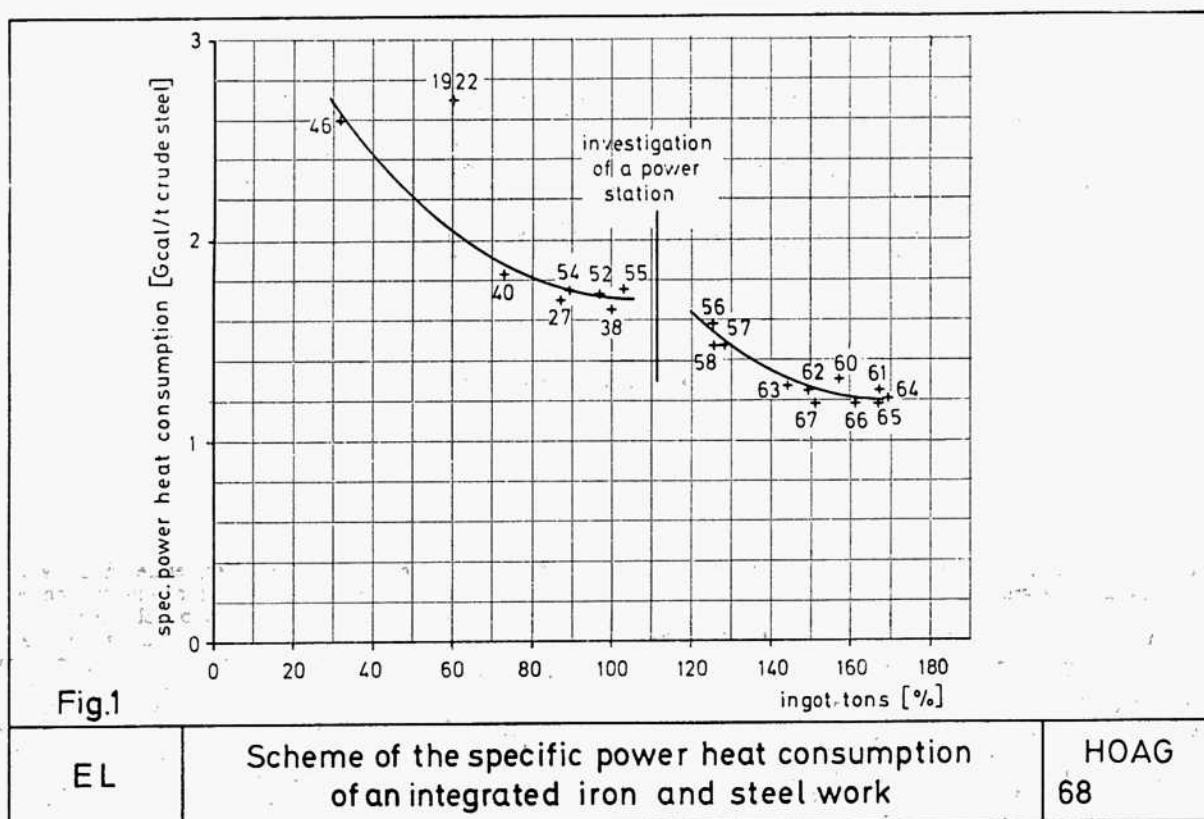


Figura 1: Diagrama del desarrollo del consumo de energía térmica de una planta siderúrgica integrada.

spec. power heat consumption (Gcal/t crude steel) = Consumo de calor (kilocaloría/ton. acero bruto); investigation of a power station = análisis de una central de fuerza; ingot tons (%) = toneladas lingote $\times 10^2$.

La primera curva de desarrollo de este valor característico señala por una parte una disminución notable de 2,7 a alrededor de 1,7 Gcal por tonelada de acero crudo, y por otra parte, que no era posible aumentar la producción de acero crudo sobre el 100% sin dificultades y de ningún modo en forma económica.

Diversas inversiones en centrales eléctricas nuevas, especialmente la instalación de una central de energía en una siderúrgica, para gas de alto horno y carbón (vapor $84 \text{ kg/cm}^2/510^\circ\text{C}$), junto con el aumento de la producción, condujo a un consumo de energía térmica inferior a 1,2 Gcal/t de acero crudo, lo que constituye el nivel óptimo en las plantas existentes. Este ejemplo indica que dicho valor específico disminuyó debido a las siguientes medidas:

1. Mejoras en las plantas existentes (1922 a 1927);
2. construcción de plantas nuevas (1954 a 1958);
3. aumento de la producción de acero crudo.

Otras cifras características, por ejemplo el consumo térmico de las acerías Siemens-Martin y de los laminadores, siguen principios similares, y a toda planta le conviene calcular y verificar estas cifras en forma continua. Así nuestro consumo térmico en los hornos Siemens-Martin bajó de más de 2,1 Gcal/t de acero crudo en el año 1922 y 1946 a aproximadamente 1,2 Gcal en 1938 y 1958, y más aún hoy, a menos de 0,8 Gcal/t. Así también los hornos de mente en el consumo de coque en el alto horno. laminadores que funcionan con carga fría trabajan hoy con 0,3 a 0,4 Gcal/t de carga, según el tipo de horno, el combustible y el tiempo de operación.

Una cifra característica que abarca todas las influencias que afectan la producción de energía en una planta integrada es el consumo específico térmico, neto, que fue introducida por primera vez por el Dr. Wesemann. Esta cifra encierra todas las energías calculadas en Gcal que están contenidas en un círculo de equilibrio trazado en torno a una siderúrgica integrada, con o sin coquería, excluidos los cargos financieros y se refiere a la producción de acero crudo. Si se traza esta cifra característica sobre el factor del cual depende principalmente, es decir, la relación entre el consumo de coque en el alto horno y la producción de acero crudo, se obtiene la figura 2, en que se ven las condiciones imperantes en Alemania.

Fuera de algunos años anómalos: 1922, inflación, 1940, la guerra, 1946, primer año de la postguerra, se ve que todos los promedios anuales de una planta (la de Hüttenwerke Oberhausen AG) se aproximan al promedio de las plantas alemanas. La fuerte reducción de este consumo térmico neto con un consumo eficiente de coque y con las mejoras introducidas en las plantas individuales (desde más de 8 Gcal a cerca de 5 Gcal/t de acero crudo), es sintomático del desarrollo y de la situación actual. En todas partes se trabaja para obtener mayores adelantos, principalmente en el consumo de coque en el alto horno.

Por importante que sea esta cifra característica, es preciso señalar aquí sus limitaciones: si bien permite obtener una buena visión del desarrollo de una planta, en una comparación transversal es necesario considerar e interpretar la influencia del estado técnico de la planta —si antigua o nueva—, los distintos grados de elaboración —producción de semiterminados o transformación—, la situación de las materias primas —minerales pobres o ri-

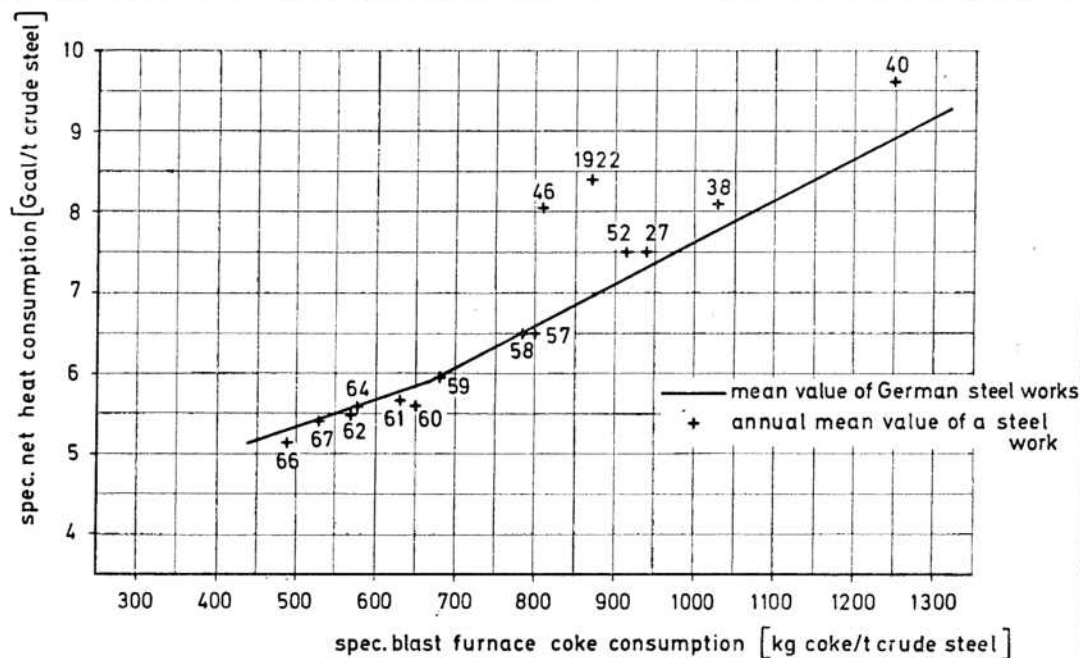


Fig. 2

EL

Development of the specific net heat consumption
of integrated iron and steel works

HOAG
68

Figura 2: Diagrama del desarrollo del consumo térmico neto de una planta siderúrgica integrada.

spec. net consumption (Gcal/t crude steel) = consumo de calor (kilocaloría/ton. acero bruto); mean value of German steel works = valor promedio en siderúrgicas alemanas; + annual mean value of a steel work = valor promedio anual plantas siderúrgicas individuales; spec. blast furnace coke consumption (kg coke/t crude steel) = consumo unitario de coque (kg coque/ton acero bruto).

cos—. En el momento actual un grupo de trabajo formado por diferentes plantas se está ocupando de este adelante.

Pero, a pesar de esta limitación, la cifra característica mencionada ha servido varias veces como base para una comparación entre diversas plantas alemanas y europeas. En 1961 y en 1966 los especialistas en energía del Verein Deutscher Eisenhüttenleute se reunieron con sus colegas en Francia. Se compararon datos relativos a la producción de energía de 12 plantas distintas, y se sacaron conclusiones de la comparación. No es posible entrar aquí en muchos detalles interesantes; sólo se pueden dar los resultados esenciales en las figuras 3 y 4.

En la figura 3 se ve que la dependencia entre el consumo neto de calor (sin coquería) y el consumo de coque por tonelada de acero crudo es casi lineal, y se mantiene entre 365 kg/t y 1100 kg/t. Esta gama se puede subdividir en tres zonas:

Lorena (Minette solamente) consumo de coque 625-110 kg/t.

Zona del Saar (minerales de alta ley y minette) consumo de coque 500 — 805 kg/t.

Zona del Ruhr (minerales de alta ley) consumo de coque 255 — 620 kg/t.

Naturalmente, si disminuye el consumo de coque, en toda planta aumentarán las necesidades de energía procedente del exterior; en las plantas que carecen de coquería, por la reducción en el volumen de gas de alto horno, si se agrega una coquería, el volumen de gas de coquería disminuirá junto con la producción de coque.

En la figura 4 se muestra el suministro necesario de energía del exterior —sin carbón coquizable ni coque— en Gcal/t sobre el consumo de coque por t de acero crudo. Con excepción de las coquerías, todas las plantas siderúrgicas de hoy necesitan energía del exterior; sólo pueden ser autosuficientes en este sentido si el consumo de coque es muy elevado. Con la disminución en el consumo de coque la demanda de energía del exterior aumenta con creciente rapidez: en el Ruhr se necesitan hoy (sin contar las coquerías) 1-2 Gcal/t de acero crudo.

El estado actual de la producción de energía en las plantas del Ruhr se caracteriza, en resumen, por lo siguiente:

Consumo de coque bajo y en constante disminución;

Suministro decreciente de gas de alto horno y de coquería;

Demanda mucho más elevada de energía del exterior; Aumento de la adquisición de corriente.

Además, la integración que se ha producido en la zona del Ruhr entre las minas de carbón, las industrias siderúrgicas y químicas, ha sufrido importantes cambios.

Para cubrir la demanda de energía de las plantas siderúrgicas, actualmente es preciso recurrir, además de los combustibles tradicionales: carbón, coque, gas de alto horno y gas de coquería, a combustibles nuevos como petróleo, gas natural, gas licuado y gas de refinería. Por ello la determinación del combustible apropiado, esto es, el más adecuado desde el punto de vista técnico y económico, resulta de especial importancia. Un comité de trabajo formado por la Wirtschaftvereinigung y el Verein Deutscher Eisenhüttenleute, compuesto por representantes

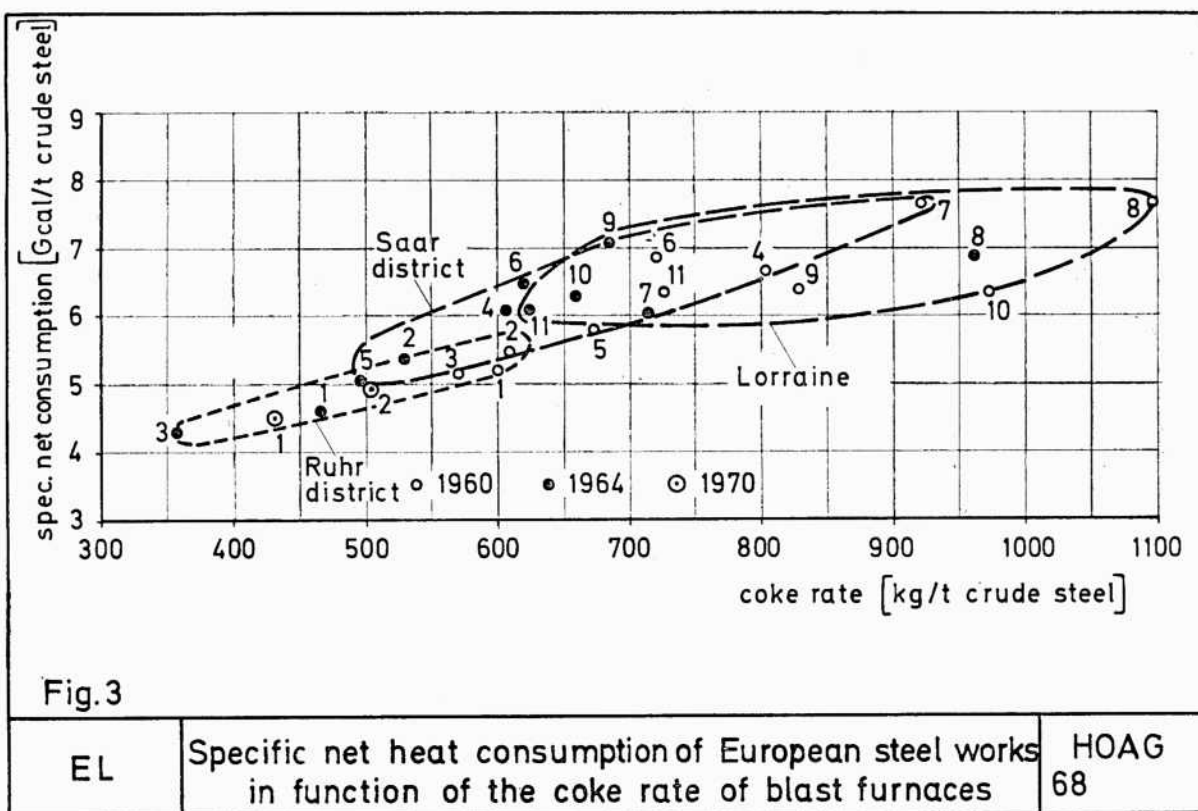


Figura 3: Influencia del consumo de coque en el alto horno sobre el consumo térmico neto en las siderúrgicas europeas.

spec. net consumption (Gcal/t crude steel) = consumo de calor (kilocaloría/ton acero bruto); Saar district = distrito del Sarre; Lorraine = Lorena; Ruhr district = distrito del Ruhr; coke rate (kg/t crude steel) = consumo unitario de coque (kg/ton acero bruto).

de diversas plantas siderúrgicas alemanas, ha elaborado directivas para la valoración comparativa de los diversos combustibles.

Según Rummel, la valoración comparativa de los combustibles consiste en una comparación de costos entre el combustible que se va a estudiar (combustible de intercambio) y un "combustible de comparación", y permite:

1. La valoración de combustibles nuevos en comparación con los que se han utilizado hasta el momento en plantas existentes;
2. la elección, entre los combustibles que se ofrecen para una planta nueva, del que resulta más conveniente, desde el punto de vista económico; y
3. La valoración, en términos de costo, de los productos asociados, en comparación con los combustibles, con un precio de mercado referido a la misma planta.

La valoración de los combustibles se basa en el supuesto de que el costo térmico específico del combustible que se estudia, puesto en el punto de consumo, no debe ser más alto que el costo del combustible de comparación, puesto en el punto de consumo, tomando por cierto en cuenta todos los costos y factores secundarios. Para ello, naturalmente, hay que observar numerosos puntos: por ejemplo, la capacidad de la planta, calidad del producto, influencia sobre toda la producción de energía. El resultado de la valoración es siempre un valor relativo, esto es, el "precio del combustible aceptable para la inversión", relativo al combustible de comparación fijado y válido para

la planta que se eligió como base de la comparación. El precio aceptable para la inversión puede, pues, variar completamente según la finalidad.

El diagrama de cálculo que se presenta en el Cuadro 2 ayuda a la valoración de los combustibles. Este diagrama tiene una parte técnica y una económica. En la primera se determina la cifra que indica cuantas unidades térmicas del combustible de intercambio reemplazan a una unidad térmica en la planta fijada. Hay diversas maneras de obtener este valor. Si se conocen los datos de hornos comparables con combustibles distintos, se puede calcular sencillamente por la relación entre los valores del consumo térmico específico. Hay además métodos matemáticos para calcular el valor, de los que no podemos ocuparnos aquí.

La parte económica del diagrama de cálculo comprende las secciones de "combustible de comparación" y "combustible de intercambio". Partiendo del costo de adquisición específico del combustible de comparación, el precio de costo aceptable del combustible de intercambio se calcula con los respectivos costos y factores secundarios. Los costos se consideran intencionalmente como costos totales, pero sin tomar en cuenta los costos adicionales de operación. Los costos fijos contenidos en los costos totales del combustible de comparación se cargan separadamente, en caso necesario, al combustible de intercambio.

Cabe señalar que las plantas alemanas adoptan casi uniformemente este método para valorar los combustibles comprados, pero, especialmente, para estimar los productos asociados, tales como el gas de coquería y de alto horno, tomando en cuenta el precio en el mercado de un combustible externo de comparación. Esto conduce a la esti-

CUADRO 1

Excedente de energía de los productos asociados en siderurgia; ejemplo de una siderúrgica integrada

por t. de acero crudo		1938		1967	
		Kcal	kWh	Kcal	kWh
planta siderúrgica	gas alto horno (50% consumo propio)	1,57	523	0,73	242
coquería	gas de coquería (45% consumo propio)	0,73	244	0,37	122
minas	productos secundarios y polvos	1,76	588	0,88	294
planta siderúrgica combinada con coquería		4,06	1355	1,98	658

Valores por comparar: consumo actual de siderúrgicas en Alemania Occidental; valor medio en 1965 376 kWh., valor medio en los Estados Unidos en 1965 337 kWh.

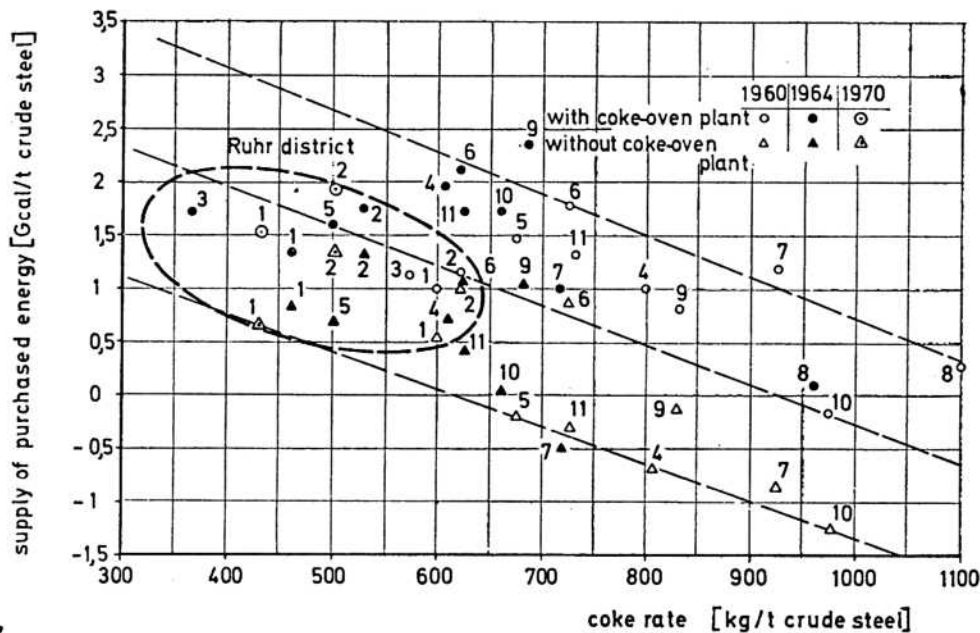


Fig.4

EL

Purchased energy of European steel works in function
of the coke rate of blast furnaces

HOAG
68

Figura 4: Influencia del consumo de coque en el alto horno sobre la energía comprada, en las siderúrgicas europeas.

supply of purchased energy (Gcal/t crude steel) = energía comprada a terceros; with coke-oven plant = con coquería propia; without coke-oven plant = sin coquería propia; coke rate (kg/t crude steel) = consumo unitario de coque (kg/ton acero bruto).

CUADRO 2

Valoración comparativa de combustibles

PLANTA		Combustible de comparación (en uso)	Combustible nuevo
a) parte técnica	Instalación	1.1 H_{u1} = kcal/Nm ³ o kg 1.2 a_{o1} = Nm ³ /Nm ³ o kg 1.3 U_{o1} = Nm ³ /Nm ³ o kg 1.4 λ_1 = 1.5 i_{o1} = kcal/Nm ³ m 1.6 i_{of1} = kcal/Nm ³ m 1.7 i_{oa1} = kcal/Nm ³ m 1.8 i_{or1} = kcal/Nm ³ m	2.1 H_{u2} = kcal/Nm ³ o kg 2.2 a_{o2} = Nm ³ /Nm ³ o kg 2.3 U_{o2} = Nm ³ /Nm ³ o kg 2.4 λ_2 = 2.5 i_{o2} = kcal/Nm ³ m 2.6 i_{of2} = kcal/Nm ³ m 2.7 i_{oa2} = kcal/Nm ³ m 2.8 i_{or2} = kcal/Nm ³ m
			$2.9W \left(\frac{2}{1} \right) = \frac{\text{Gcal. comb. de sustitución}}{\text{Gcal comb. de comparación}}$
		1. 10 q_{n1} = Gcal/producción	2. 10 q_{n2} = Gcal/t. producción
b) parte económica	combustible de comparación (en uso)	1.11 precio de costo (puesto productor) (DM/t de combustible) 1.12 costos desde el productor al consumidor (DM/1000 Nm ³ de combustible) 1.13 precio de combustible puesto consumidor (DM/t de combustible) 1.14 costos del calor puesto consumidor (DM/1000 Nm de combustible) 1.15 costos de tratamiento para el consumidor (DM/Gcal) 1.16 impuestos de operación (DM/Gcal) 1.17 servicio financiero para el consumidor (DM/Gcal) 1.18 otras influencias (DM/Gcal) 1.19 costos del calor puesto punto de consumo (DM/Gcal) 1.20 costos específicos del calor puesto punto de consumo (DM/t de producción)	
	combustible nuevo (2)	2.20 costos específicos del calor puesto punto de consumo (DM/t de producción) 2.19 costo aceptable del calor puesto punto de consumo (DM/Gcal) 2.18 otras influencias (DM/Gcal) 2.17 servicio financiero para el consumidor (DM/Gcal) 2.17a servicio financiero del combustible de comparación (DM/Gcal) 2.16 impuestos de operación (DM/Gcal) 2.15 costos de tratamiento para el consumidor (DM/Gcal) 2.15a costos fijos del combustible de comparación (DM/Gcal) 2.14 precio aceptable del calor puesto consumidor (DM/Gcal) 2.13 precio aceptable del combustible puesto consumidor (DM/t de combustible) (DM/1000 Nm ³ de combustible) 2.12 costos desde el productor al consumidor (DM/t de combustible) (DM/1000 Nm ³ de combustible) 2.11 precio de costo aceptable (puesto productor) (DM/t de combustible) (DM/1000 Nm ³ de combustible)	
Fecha:.....		por:.....	

mación de precios distintos ("divididos") de los productos asociados, pero es esencial para tener una verdadera comparación transversal de costos.

En los últimos años se ha empleado el petróleo y los combustibles gaseosos como "combustibles de sustitución" en el alto horno, con el fin de aumentar la capacidad, mejorar la calidad del arrabio, regular el funcionamiento del alto horno y ahorrar coque. Además del petróleo se pueden emplear gases, como el gas natural y el gas de coquería, que hoy en día se ve desplazado por el gas natural y debe volver a las plantas siderúrgicas.

En principio, el método de valoración que se ha descrito, como es válido para la combustión total, no se puede aplicar a la operación del alto horno. Los compuestos de hidrocarburos que se inyectan dentro del alto horno no se utilizan como combustible sino en forma química, en gran medida. Sin embargo, también es posible hacer una estimación de esto siempre que se disponga de informaciones, tales como datos de operación o de investigación, o bien por medio de un modelo suficientemente exacto. A menudo bastan métodos de cálculo más sencillos. En esta forma, y sobre la base del costo del arrabio que se puede obtener hoy en día usando petróleo, y tomando en cuenta diversos costos de petróleo y de coque, y las condiciones vigentes en la zona del Ruhr, se han calculado precios aceptables para la inversión en los aspectos de gas de coquería y gas natural.

En la figura 5 se ven los resultados obtenidos. Los precios aceptables para la inversión se trazan sobre el precio del coque y suben —sorprendentemente, a primera vista—, a medida que bajan los precios del coque. Pero esto se explica mediante las siguientes suposiciones: a medida que bajan los precios del coque la disminución en el precio del arrabio debida a la inyección de petróleo se reducirá, es decir, el crédito respecto de la operación libre de cargo. Es preciso señalar claramente una vez más que los resultados dados valen solamente para la zona del Ruhr; para otras condiciones es necesario hacer un nuevo cálculo.

3. Métodos para comparar distintas plantas.

La actividad del Verein Deutscher Eisenhüttenleute en el campo de la producción de energía en las plantas siderúrgicas tiene ya alrededor de cincuenta años. El intercambio de experiencias en campos que no tienen relación directa con la competencia entre plantas sirve a todos, al fin y al cabo, y contribuye a reforzar la industria siderúrgica tanto nacional como mundial.

Un instrumento útil para comparar plantas son las cifras características, esto es, el consumo total de energía o el consumo de calor de las plantas individuales. He empleado algunas cifras para señalar el desarrollo de plantas alemanas, y se mencionó que se utilizaron dichas cifras en un intercambio de experiencias con colegas franceses. Ahora quisiera extender la comparación e iniciarla, con algunas cifras, entre plantas latinoamericanas y europeas. El valor del consumo térmico neto, que ya se explicó, resulta especialmente apropiado para ello: esta amplia cifra característica permite realizar una primera comparación, sobre cuya base se pueden proseguir las investigaciones y proposiciones.

Junto con este trabajo se presenta un cuestionario relacionado con la producción de energía en las siderúrgicas integradas, basado en antecedentes utilizados anteriormente por el Verein Deutscher Eisenhüttenleute. Se compone de una explicación y cuatro hojas:

- Hoja 1 — Cifras características de producción
- Hoja 2 — Balance de energía sin coquería
- Hoja 3 — Balance de energía con coquería
- Hoja 4 — Efecto calórico y valores térmicos equivalentes para convertir los valores de balance.

Una breve observación general: además de los valores de consumo el cuestionario contiene columnas para los costos. Si bien las cifras de consumo, en especial del consumo de energía, son imprescindibles para calcular la cifra característica del consumo térmico neto, el costo de algunos otros valores adicionales sólo tiene interés al realizar un estudio completo de la producción de energía. Pero se han incluido estos valores adicionales con el fin de clarificar rápidamente las materias que sobrepasen el consumo térmico neto. Por último, cada planta puede decidir si se ha de hacer voluntariamente una comparación y la extensión que ella tendrá.

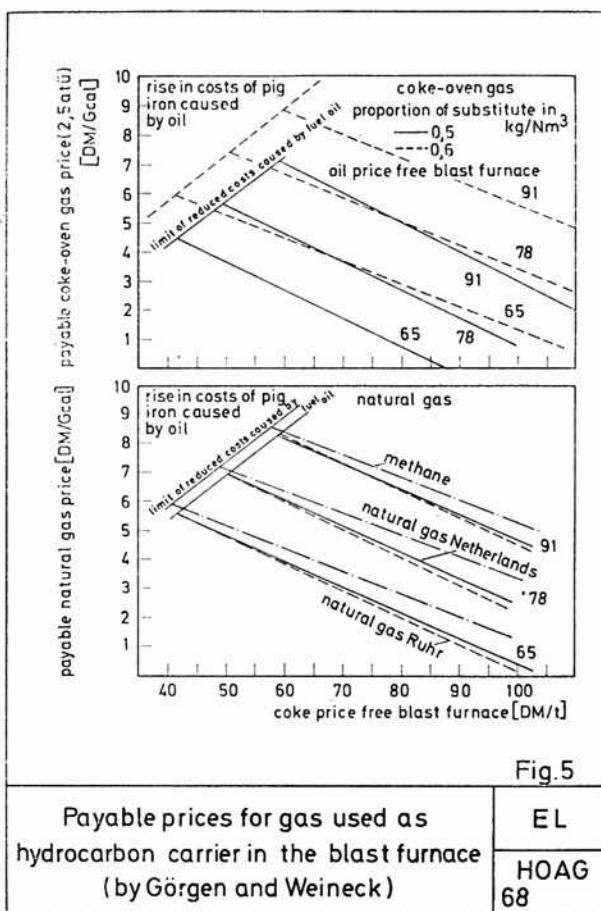


Figura 5: Precios aplicables del gas como fuente de hidrocarburos en el alto horno (según Görden y Weineck).

payable coke-oven gas price (2,5 atü) (DM/Gcal) = Precio que se puede pagar gas de coquería (Dm/kilo caloría); rise in costs of pig iron caused by oil = alza costo arrabio provocado por petróleo; coke-oven gas proportion of substitute in kg/Nm³ = gas de coquería proporción sustituto en kg/m³N; oil price free blast furnace = precio petróleo puesto alto horno; limit of reduced costs caused by fuel oil = límite disminución costos provocados por petróleo;

payable natural gas price (DM/Gcal) = precio que se puede pagar por gas natural (Dm/kilo caloría); rise in costs of pig iron caused by oil = Alza costo arrabio provocado por petróleo; natural gas = gas natural; methane = metano; natural gas Netherlands = gas natural Holanda; natural gas Ruhr = gas natural Ruhr; limit of reduced costs by fuel oil = límite disminución costos provocado por petróleo; coke price free blast furnace (DM/t) = precio coque puesto alto horno (DM/t).

Las cifras características de producción que se encuentran en la Hoja 1 se necesitan, en parte, para introducir el consumo térmico neto dentro de un diagrama similar al de la figura 2, es decir, la relación entre la producción de arrabio y la de acero crudo. Otros valores sirven para estimar la situación del consumo térmico neto, esto es, la producción en los talleres de transformación en caliente y la producción de semiterminados.

En vista de las diferencias que se encuentran en la producción de energía con y sin coquería, es preciso establecer balances para ambos casos (hoja 2 ó 3), pero en la hoja 3 sólo deben incluirse las coquerías de las plantas siderúrgicas, no las de las minas de carbón adyacentes.

Para el consumo térmico se deben emplear normalmente los valores térmicos reales, y sólo excepcionalmente los valores térmicos de la hoja 4. Esta hoja, sin embargo, es indispensable para convertir todas las otras fuentes de energía: corriente eléctrica, oxígeno, agua, aire comprimido, a unidades térmicas (Gcal) de manera uniforme y para incluir también dichas fuentes de energía en la cifra característica de consumo térmico neto (Gcal/t de acero crudo). Así a la corriente eléctrica se le asigna un calor de producción de 3.500 kcal/kWh, y no solamente 860 kcal.

En cualquier planta siderúrgica integrada se tiene una primera posibilidad de comparación si se calcula el consumo térmico neto, con ayuda de la hoja 2, y se indica sobre el consumo de coque de la figura 2: la posición relativa de los valores promedio de las plantas alemanas y de las plantas europeas, en la figura 3, sirve de base para un primer juicio.

Pero un juicio completo solamente es posible por medio de una comparación más amplia con las cifras características de plantas individuales. No podemos extendernos más sobre esto aquí, pero se puede obtener una primera referencia mediante algunos ejemplos de valores óptimos en plantas siderúrgicas:

Consumo de coque del alto horno 500 kg/t arrabio (incluyendo equivalente de petróleo);

Eficiencia de los calentadores del aire 90%;

Consumo de calor de los hornos Siemens-Martin 0,65 Gcal/t de acero crudo;

Horno eléctrico de aceración 500 kWh/t acero crudo;

Horno de empuje de recalentamiento (con carga fría) 0,32 Gcal/t de carga.

4. Producción de energía en las plantas latinoamericanas.

Como metalurgista alemán, al proponerme comentar ante una asamblea tan entendida la producción de energía en las siderúrgicas latinoamericanas, comprendo que conozco los problemas de ustedes sólo superficialmente, y que sólo puedo intentar trazar un paralelo basado en mi conocimiento de las condiciones reinantes en Europa.

América Latina, al contrario de Europa, es un continente joven que no ha explotado intensamente sus posibilidades. Los recursos minerales explotados o conocidos hasta ahora, lo mismo que las fuentes de energía, no son por cierto sino una pequeña parte de los existentes, con grandes diferencias regionales. A nosotros nos ocurre algo muy distinto: los recursos minerales, excepto, quizás, el gas natural, están totalmente explorados, pero en parte ya no vale la pena explotarlos en las circunstancias actuales. El extenso cierre de las minas es asunto conocido, lo mismo que el problema de los costos de nuestro carbón.

Pero ya aquí, a pesar de los aparentes contrastes, hay una similitud: la dependencia de las importaciones. Ciertamente es que entre nosotros como entre ustedes hay plantas que tienen mineral propio o carbón propio, pero en general hay que comprar las materias primas y las fuentes de energía. Este hecho conduce en cada caso a consideraciones económicas de diversa índole, particularmente en cuanto a la producción de energía.

Al contrario de la zona del Ruhr, con su carbón coqueable de alta calidad, pero cargado con un costo de extracción relativamente elevado, América Latina carece de carbón adecuado para fines siderúrgicos, especialmente en las zonas alejadas de los Andes. Así, todavía en 1962 sólo el 61% del arrabio fue producido mediante coque de carbón, el resto se produjo con energía hidráulica o carbón vegetal. En 1964 solamente en Brasil se produjo más del 40% del arrabio con carbón vegetal. Sólo Colombia y México pueden utilizar exclusivamente los carbones propios, los demás países que tienen industria siderúrgica deben consumir carbón importado: Argentina, Perú y Venezuela en el 100%, Brasil y Chile en un promedio de 60%. Así los costos son considerables, lo que constituye un paralelo con la zona del Ruhr, por ejemplo, y a la vez un estímulo a hacer cuanto sea posible por reducir el consumo de coque.

Aquí pertenece la aplicación de otros agentes de reducción en los altos hornos. Se pueden emplear en cierta medida el gas natural doméstico o el petróleo mineral, también el petróleo de alquitrán de hulla proveniente de las coquerías, incluso, en ciertos casos, el gas de coquería cuando existe una aplicación económica para él. De tal modo que hay siderúrgicas que emplean petróleo en cantidades crecientes —por ejemplo, en Argentina y Chile— o gas natural, por ejemplo en México.

El suministro sin restricciones de corriente eléctrica barata es una condición básica para toda planta siderúrgica. En algunos países de América Latina se obtiene corriente eléctrica relativamente barata mediante la fuerza hidráulica. Así, en el pasado, se construyeron 14 hornos eléctricos de cuba baja en Brasil, Perú y Venezuela. Como las centrales hidroeléctricas dependen del nivel del agua y en vista de las restricciones que ello ocasiona a la operación, la metalurgia eléctrica se ha extendido apenas en la época actual. Esta situación puede cambiar otra vez en el futuro, debido a un mejoramiento en la operación integrada y mediante el empleo de la energía nuclear.

Ya señalé la importancia que tiene la producción de energía en una planta siderúrgica y el desarrollo de la cifra característica correspondiente en una planta alemana. La situación es mucho más sencilla en Europa: la generalidad de las plantas siderúrgicas poseen su propia central eléctrica que consume gas de alto horno, con carbón o petróleo como combustible secundario; dichas centrales funcionan en colaboración con la red pública, de suministro de energía, la que a su vez forma parte del sistema europeo de energía. Las restricciones en la operación debidas a falta de corriente se desconocen, las interrupciones por fallas en el suministro de corriente son poco frecuentes (una vez cada 2 ó 3 años), y entonces son muy breves (algunos minutos).

En la figura 6 se ve una caldera vertical de tubo destinada a una planta siderúrgica europea nueva. La capacidad es de 100 t/h, presión del vapor 72 kg/cm², temperatura del vapor 500°C. Dos calderas como ésta y una tercera de 130t/h fueron entregadas por una firma alemana, y están equipadas para calentamiento por gas de alto horno, gas de coquería y petróleo. El petróleo sirve de combustible de equilibrio en la industria del gas y por sí solo puede proporcionar el 60% de la capacidad; el gas de alto horno y el gas de coquería pueden proporcionar, cada uno, el 100%. El suministro de energía de esta instalación es muy flexible y a la vez muy seguro, debido al empleo de 3 combustibles en 3 calderas. Para la generación de corriente funcionan 4 grupos de turbinas de condensación, cuya capacidad es de 2 x 18 y 2 x 27, que trabajan en combinación con la red pública de energía. La demanda térmica de una central de planta siderúrgica de este tipo es aproximadamente 3.000 kcal/kWh, en relación con la capacidad entregada, y la demanda específica de vapor es de algo más de 4 kg/kWh.

Las centrales eléctricas de este tipo, con calderas de vapor, instaladas en las plantas siderúrgicas, son apropiadas para las capacidades superiores a 30 MW. Las

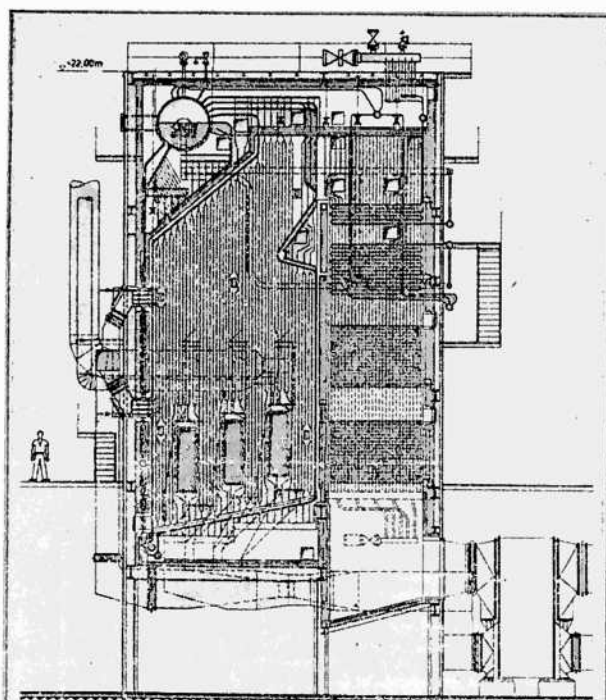


Fig. 6

Vertical tube boiler of a modern European steel plant for economic use of blast furnace gas and coke-oven gas (by MAN)

EL

HOAG
68

Figura 6: Caldera vertical de tubo de una siderúrgica europea moderna, destinada a utilizar económicamente el gas de alto horno y de coquería (según documentación MAN).

plantas más pequeñas ni disponen de una cantidad tan grande de gas de alto horno ni tienen una demanda correspondiente de corriente. Aquí aparece la turbina de gas de ciclo cerrado, perfeccionada en los últimos años. En una pequeña planta de alto horno situada en la zona del Ruhr se instaló como central eléctrica una turbina de esta naturaleza, con capacidad para 17 MW.

Esta planta de alto horno enfrentaba la tarea de modernizar y extender las instalaciones eléctricas existentes, tarea que a su vez deben afrontar también las plantas similares de América Latina. La central eléctrica por construir debía, en primer lugar, aprovechar totalmente las cantidades disponibles de gas de alto horno, a veces muy variables, garantizar al mismo tiempo la capacidad eléctrica, independientemente de las cantidades de gas disponibles, y además asegurar el suministro de calor.

El sistema de turbina de gas de ciclo cerrado permite realizar una buena regulación y tiene un comportamiento favorable con carga parciales; al contrario de la turbina de gas de ciclo abierto, la presión y las temperaturas se mantienen constantes con cargas diferentes. Dentro del calentador de aire, se calienta el aire circulante con gas de alto horno (con 850 kcal/Nm³) y petróleo, desde 430°C a 710°C, a 39 kg/cm², y pasa a la turbina de gas que impulsa directamente el grupo compresor a 6.450 rpm, y el generador, a 3.000 rpm mediante un engranaje planetario. En el ciclo de aire van instalados varios intercambiadores de calor, para el intercambio de calor del aire circulante y para el suministro de calor.

La figura 7-a muestra el grupo de máquinas que se compone (de derecha a izquierda) de: compresor de baja presión, compresor de alta presión y turbina (en la misma caja), engranaje de reducción, generador y motor de partida; la figura 7-b muestra el calentador de aire delante de la casa de máquina. En caso necesario se puede ampliar el grupo de máquinas mediante un soplande de gas de alto horno, y en caso de fallar la turbina, el generador puede servir como motor de propulsión para suministrar viento al alto horno.

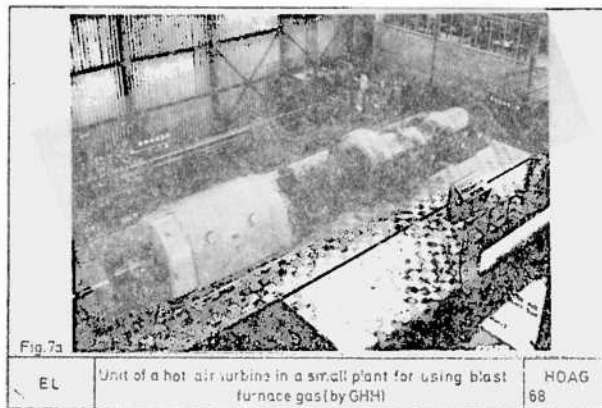


Fig. 7a

Unit of a hot air turbine in a small plant for using blast furnace gas (by GHH)

HOAG
68

Figura 7a. y 7b.: Turbina de aire caliente en una planta pequeña de alto horno, para el uso del gas de alto horno (fotografía de GHH).

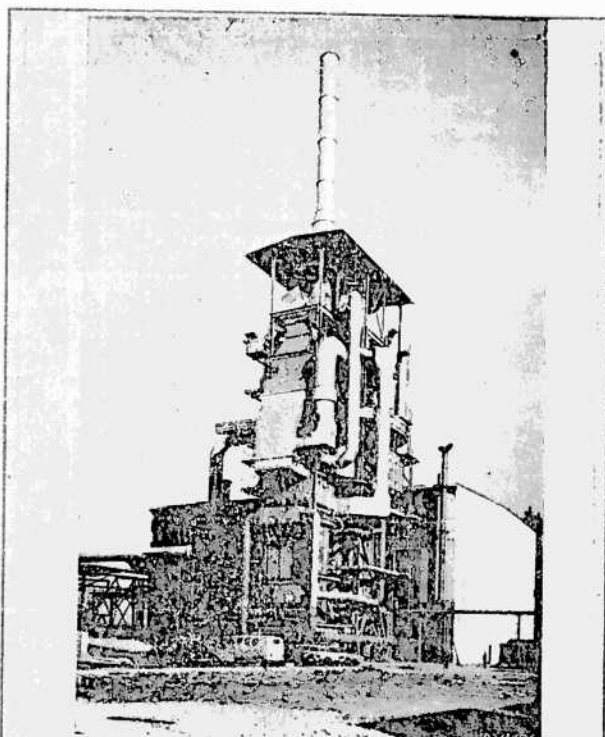


Fig. 7b

Air heater of a hot air turbine in a small plant for using blast furnace gas (by GHH)

EL

HOAG
68

Hace algunos años se instaló en las plantas europeas una serie de turbinas de gas de ciclo abierto, para gas de alto horno; luego de diversos tropiezos —debidos principalmente a la acumulación de polvo y la corrosión— han dado resultados satisfactorios. Sin embargo, en los últimos años no se ha producido ningún adelanto nuevo. El desarrollo de turbinas de gas de ciclo abierto continúa independientemente, como sistema unitario de energía eléctrica destinado a satisfacer la demanda máxima de las empresas públicas de suministro de corriente.

La instalación de una red de emergencia de corriente eléctrica es indispensable en una planta siderúrgica, por razones de seguridad. Aquellas instalaciones cuyo suministro de corriente no debe fallar, esto es, las bombas de agua de refrigeración y los soplantes de emergencia del alto horno, van conectados a la red de emergencia. Se necesitan generadores especiales para la red de emergencia, si la central eléctrica de la planta siderúrgica no está en situación de asegurar una red de emergencia independiente; van conectados a motores de combustión interna con dispositivo de partida automática.

En Europa el gas de alto horno, como producto asociado, se suministra en medida creciente a las centrales eléctricas de las plantas siderúrgicas, ya que para calentar los hornos industriales se ofrecen fuentes de energía primaria relativamente baratas —como el petróleo o el gas natural— y también el gas de coquería. En contraste con el uso considerable del gas de alto horno que se hacía hace 20 años en todos los hornos de los laminadores, hoy se observa el fenómeno inverso, intensificado por la experiencia poco favorable que se ha tenido con los recuperadores que se necesitan para el gas de alto horno, pues su duración en los hornos de foso todavía resulta insuficiente.

La pregunta que frecuentemente se hace también en América Latina: ¿usar el gas de alto horno en los hornos industriales? recibe muchas veces la respuesta siguiente: el gas de alto horno para la central eléctrica (posiblemente refinado apenas), el gas rico o el petróleo (o aun un gas mixto durante un período de transición) para los hornos, cuyo diseño podría entonces simplificarse considerablemente. Además, si se usa el gas de alto horno en la central eléctrica con un combustible secundario, carbón o petróleo, será mucho más fácil equilibrar el suministro de gas en caso de una falla del alto horno, y se necesita un depósito de gas mucho más pequeño. También es posible proteger la red de gas del alto horno sin necesidad de un depósito de gas.

Los costos o precios de la energía en las plantas siderúrgicas latinoamericanas corresponden a los de las plantas alemanas, de modo que parece posible aplicar nuestras prácticas en las siderúrgicas de aquí. En caso contrario, habría que investigar los datos relativos a cada planta.

5. La futura producción de energía en las siderúrgicas integradas.

Ya hemos visto las líneas del desarrollo de la producción metalúrgica de energía: descenso del consumo específico de coque, menores cantidades de gas de alto horno y de coquería, volumen creciente de energía comprada. ¿Qué aspecto presenta el cuadro futuro de la energía en la planta siderúrgica, siempre sobre la base de la metalurgia con coque?

La figura 8, de Rheinländer, muestra el esquema probable de la energía en una siderúrgica integrada moderna: el excedente de gas del alto horno se consume principalmente en la central eléctrica de la planta, que emplea además, como combustible secundario, petróleo, carbón, gas natural o gas de coquería, según la situación de energía de la planta. Todas las demás instalaciones de la planta que consume calor emplearán combustibles comprados afuera: petróleo o gas natural, o gas de coquería de la coquería propia o de una cercana. La antigua

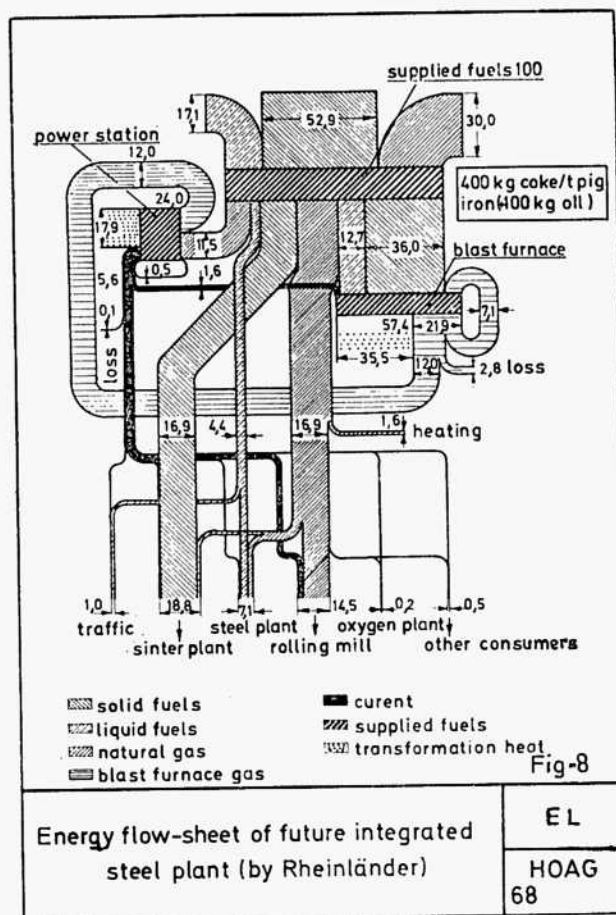


Figura 8: Flujo de energía en una siderúrgica integrada del futuro (según Rheinländer).

power station = central de fuerza; supplied fuels 100 = combustible suministrado = 100; 400 kg coke/t pig iron (+100 kg oil) = 400 kg coque/ton arrabio (+100 kg petróleo); blast furnace = alto horno; loss = pérdida; heating = calentamiento; traffic = tráfico; sinter plant = planta sinter; steel plant = acería; rolling mill = laminadores; oxygen plant = planta oxígeno; other consumers = otros consumos; solid fuels = combustibles sólidos; liquid fuels = combustibles líquidos; natural gas = gas natural; blast furnace gas = gas alto horno; current = energía eléctrica; supplied fuels = combustibles suministrados; transformation heat = calor transformado.

y extendida red de gas de baja presión por conductos de gran diámetro será reemplazada en parte por tuberías de gas de alta o mediana presión (gas de la red central a 7 kg/cm² o gas directo a 4.000 mm de columna de agua). En un período de transición el gas de coquería o el gas natural servirán para elevar el valor térmico del gas de alto horno, o para integrar un gas mixto con 2-3.000 kcal/Nm³. Por tanto, volverá a aumentar la producción interna de corriente. Una planta grande con su propia central eléctrica moderna y extendida puede ser completamente autosuficiente, aunque por razones de seguridad estará conectada a la red pública de energía eléctrica.

Estas perspectivas valdrán en los próximos diez a quince años por lo menos, luego la estructura puede variar hacia un procedimiento nuevo que ya se encuentra en práctica hoy: la reducción directa y los hornos eléctricos.

Hoy en día más del 98% de la producción mundial de hierro se fabrica con mineral en los altos hornos, mediante el uso de coque metalúrgico, que es un combustible bastante caro. El reemplazo en el alto horno por combustibles más baratos es posible sólo en cierta medida, pero se puede hacer, en el caso de la reducción directa, al sustituir el mineral por hierro esponja, según lo informó el señor Puhlman un año atrás. Uno de estos métodos —el método HyL— se aplica en México para producir 150 a 200.000 toneladas de hierro esponja al año. En el sistema Purofer, de la Hüttenwerk Oberhausen AG, se ocupa un horno de cuba como recipiente de reducción; el gas de reducción se obtiene del gas natural o del gas de coquería.

El suministro de gas de semejante planta es muy diferente del de un alto horno. No existe el gas de coquería como producto asociado, y el excedente de gas de la planta de reducción es muy poco y una central eléctrica puede absorberlo fácilmente. Por el contrario, es necesario comprar grandes cantidades de gas y de corriente: sólo

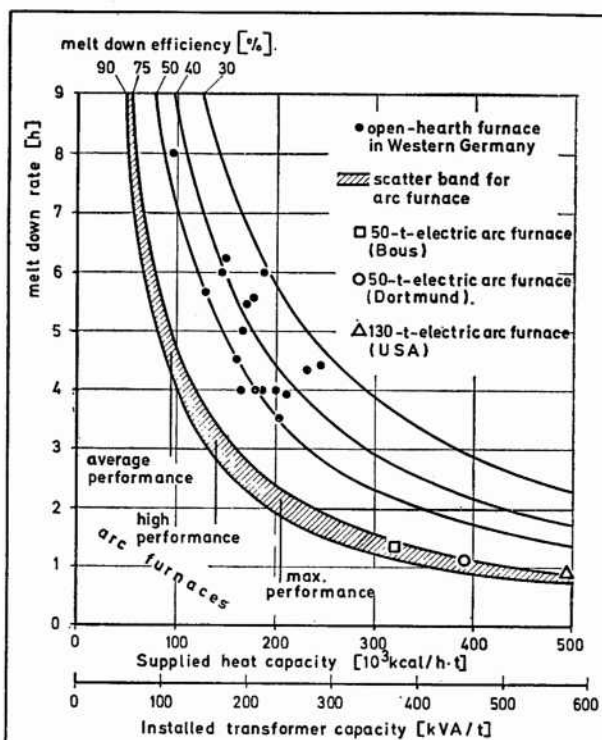


Fig. 9

Simplified diagram of the melt down rate
in function of the energy supply
(by Mund and Kreutzer)

EL

HOAG

68

Figura 9: Diagrama simplificado del tiempo de derretimiento y su dependencia del suministro de energía, según Mund y Kreutzer).

melt down efficiency (%) = eficiencia del derretimiento (%); open-hearth furnace in Western Germany = horno Siemens-Martin en Alemania Occidental; scatter band for arc furnace = banda de dispersión para horno de arco; 50-t-electric arc furnace (Bous) = 50-t-horno eléctrico de arco (Bous); melt down rate (h) = velocidad de derretimiento; average performance = rendimiento medio; high performance = alto rendimiento; max. performance = rendimiento máximo; arc furnaces = hornos eléctricos; supplied heat capacity (10^3 kcal/h-t) = capacidad térmica suministrada; installed transformer capacity (kVA/t) = capacidad instalada del transformador.

para la reducción directa, con 1.000 t de Fe al día, se necesitan 415.000 Nm³ de gas natural, esto es, 125 millones Nm³/año.

Para la producción de acero crudo el hierro esponja es una materia prima nueva de composición uniforme, que se puede transportar a granel. El uso del hierro esponja en un horno eléctrico de arco, con cierta proporción de chatarra, aparece especialmente favorable debido a la baja tasa de carbono. Aquí la evolución del sistema de reducción directa encuentra otro adelanto en la producción de energía.

Por diversas razones —el perfeccionamiento de los hornos eléctricos de arco de alto rendimiento, las discusiones en torno al precio de la corriente— nuevamente se consideran los hornos eléctricos para la aceración, principalmente a base de chatarra. La figura 9, por Mund y Kreutzer, muestra la velocidad de derretimiento como función del suministro de energía en los hornos Siemens-Martin y eléctricos de arco, en forma simplificada y esquemática, suponiendo que hay distintas eficiencias: el tiempo de derretimiento en el horno eléctrico de arco de máximo rendimiento es inferior a dos horas, cifra que el mejor horno Siemens-Martin no es capaz de alcanzar. Ya hoy se estima, sobre la base de las condiciones en Alemania, que los costos del acero crudo de estos hornos eléctricos

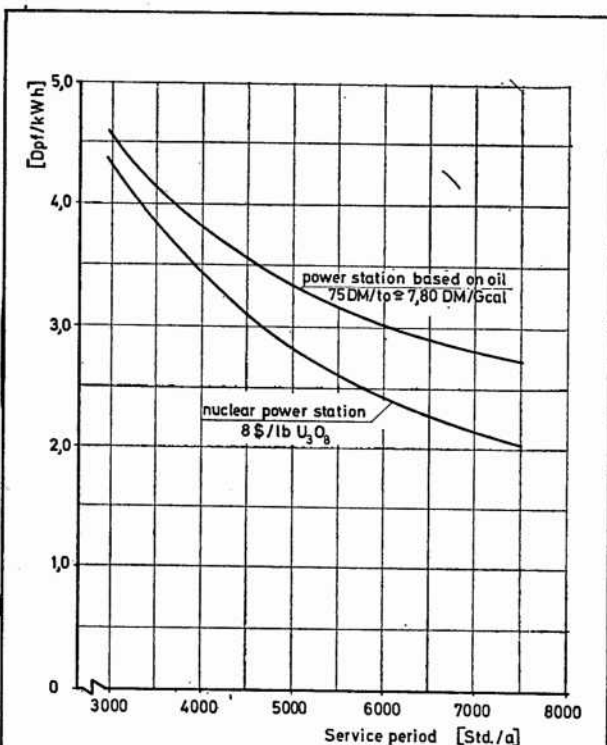


Fig. 10

Costs of the current energy production of
thermal power stations-600 MW-bloc
(by Mandel)

EL

HOAG

68

Figura 10: Costo de la generación de corriente en las centrales termoeléctricas (centrales de 600 MW), (según Mandel).

power station based on oil 75 DM/ton, 7,80 DM/Gcal = Central eléctrica basada en petróleo 75 DM/ton pet, 7,80 DM/Kcal; nuclear power station 8\$/lb U₃O₈ = Central eléctrica nuclear 8\$/lb U₃O₈; Service period (Std./a) = Período servicio.

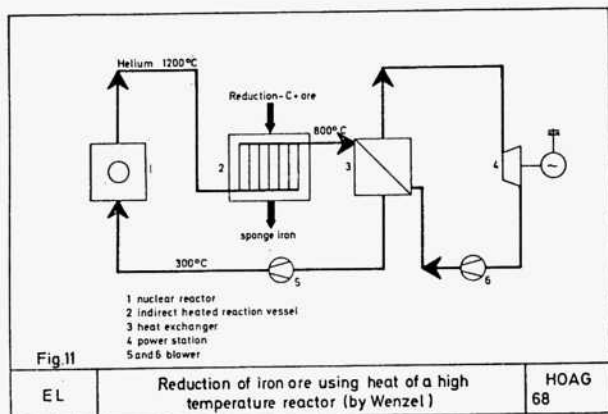


Figura 11: Reducción de mineral de hierro mediante el calor de un reactor de alta temperatura (según Wenzel).

Helium 1200°C = helio 1200°C; reduction - C + ore = reducción - C + mineral; sponge iron = hierro esponja; nuclear reactor = reactor nuclear; indirect heated reaction vessel = recipiente de reacción con calentamiento indirecto; heat exchanger = intercambiador de calor; power station = central eléctrica; 5 and 6 blower = 5 y 6 soplante.

de arco, con un menor costo de la corriente, equivalen a los del horno Siemens-Martin, por lo que cualquiera otra ventaja resulta adicional.

Así, parece que en el futuro la producción de acero crudo se obtendrá, al menos en parte, de la reducción directa y los hornos eléctricos de reducción. En tercer lugar se encuentra la energía nuclear, aunque no en el futuro próximo.

Aunque las perspectivas en los diversos sectores son muy diferentes entre sí, es evidente que todos los problemas técnicos y económicos esenciales de las centrales térmicas nucleares han sido resueltos. Ya hay centrales de más de 600 MW en funcionamiento y en construcción en Alemania, las que suministrarán energía al mismo precio, por lo menos, que la energía producida con petróleo, y probablemente 1/2 Dpf más barata.

En la figura 10, de Mandel, se ven los costos de generación de una central térmica de 600 MW (sin reserva). Es cierto que la inversión de capital de las centrales eléctricas nucleares es más alta, pero los costos del combustible son casi 2/3 más bajos que el petróleo, de tal modo que en cada período de servicio la central nuclear puede producir corriente más barata, ventaja que resulta especialmente notable en período de servicio prolongado.

La Comisión de Energía Atómica de Argentina pidió una central eléctrica nuclear a Siemens AG. A 100 km al noroeste de Buenos Aires se construirá un reactor de uranio natural y agua a presión, de 318 MW que empezará a funcionar probablemente en 1972. En los últimos años se ha debatido repetidas veces la construcción de una central nuclear en Brasil.

En la actualidad las centrales eléctricas nucleares están participando en un porcentaje creciente del aumento de la producción de corriente, y los trabajos e investigaciones en curso permiten esperar que la escasez de uranio, pasado 1980, podrá evitarse mediante los reactores de neutrones rápidos. En Alemania se están realizando esfuerzos por construir una central de energía nuclear en una gran industria química, para producir calor industrial (vapor) y corriente, pero en combinación con una planta generadora de corriente.

¿Qué perspectivas presenta la energía nuclear para el suministro de energía en una planta siderúrgica, además de la influencia que ejercerá en el precio de la corriente eléctrica? Su aplicación como fuente de calor industrial se ha discutido repetidas veces y parece posible, aun cuan-

do en los reactores de alta temperatura todavía no se alcanza la temperatura mínima de 1.000°C en el refrigerante.

En la figura 11, de Wenzel, se ve la reducción del mineral de hierro mediante el calor de un reactor de alta temperatura enfriado por helio. Para la elevada capacidad de transferencia de calor que se necesita, se requiere un circuito de helio de menos de 40 kg/cm². y posiblemente de 1.200°C. Luego de la transferencia de calor en el recipiente de reducción calentado indirectamente, el helio (800°C) proporciona más calor (hasta 400°C) a una central de energía.

En el futuro será viable la producción de acero por reducción directa, con empleo de calor nuclear, y en los hornos eléctricos de arco, mediante la corriente nuclear. En los próximos años las centrales de energía nuclear tendrán poco efecto sobre las plantas siderúrgicas, y las afectarán sólo indirectamente por medio del precio de la corriente; pero, en vista del inmenso adelanto que se ha realizado en los últimos 20 años, apenas se puede estimar la influencia que tendrá la energía nuclear sobre la tecnología de las plantas siderúrgicas.

ACLARACIONES RESPECTO AL

Cuestionario para la economía energética de plantas siderúrgicas mixtas. El cuestionario adjunto para la economía energética sirve para comparar distintas plantas siderúrgicas mixtas.

Este cuestionario ha sido desarrollado en colaboración con varias asociaciones siderúrgicas europeas y utilizado repetidas veces en sesiones de comisiones formadas por ingenieros de plantas siderúrgicas europeas. La utilización de este cuestionario crea la condición previa para comparar la economía energética de las plantas siderúrgicas latinoamericanas con las plantas europeas y entre sí. Además permitirá hacer propuestas para mejorar la economía energética de distintas plantas. En particular hay que considerar lo siguiente:

En el encabezamiento hay que indicar la Planta, el país y la unidad monetaria, y eventualmente también la conversión en DM (Marcos Alemanes) o en Dólares. Además debe ser indicada la sección de la planta y el nombre del especialista para permitir el contacto directo si el caso lo requiere.

I. Características de producción.

Bajo el párrafo I deben ser indicadas las características de la producción de arrabio, de acero en bruto (subdividido según las distintas clases de acero) y de los productos de acero en bruto.

En el caso de la producción de acero en bruto hay que indicar además el tipo del arrabio producido, especialmente para la producción de arrabio especial.

Las dos primeras columnas de las características de producción deben incluir el promedio mensual del año 1967/68. En este caso se puede indicar un valor promedio de un período prolongado o un valor mensual representativo.

La primera columna de este promedio mensual contendrá un valor específico, a saber, la conversión de las distintas producciones en una tonelada de acero en bruto, es decir, valor de producción de arrabio dividido por el valor de producción de acero en bruto, etc. En la segunda columna debe ser registrada la producción absoluta expresada en 1000 t.

La tercera columna del cuestionario incluirá los gastos en unidades monetarias por tonelada de producción. Estos gastos en sí son de interés para una evaluación en cuanto a la economía energética, pero no absolutamente necesarios, no siendo preciso llenar esta columna si hay motivos contrarios.

La cuarta y quinta columna deben indicar promedios mensuales de la planificación para el período 1970 y 1975, preferiblemente para el año en el cual se cuenta alcanzar la capacidad proyectada para el futuro. La cuarta columna debe incluir así mismo la producción referida a una tonelada de acero en bruto, y la quinta columna la producción absoluta en 1000 t.

II. Balance de energía sin coquería.

Como se sabe, hay plantas siderúrgicas con y sin coquería propia. En este caso se considera solamente la coquería que pertenece *directamente a la planta siderúrgica* y no la coquería perteneciente eventualmente a una compañía minera adyacente.

En los casos siguientes hay que indicar en las dos primeras columnas los *promedios mensuales* del año 1967/68, es decir, la *cantidad absoluta en 1000 Nm³ o en t* y en la columna 2 la *cantidad calorífica en millones de kcal/t. de acero en bruto*, calculada de la cantidad absoluta y el valor calorífico. La columna 2 resulta de multiplicar las cantidades absolutas indicadas por el valor calorífico, dividido por la producción de acero en bruto de la hoja I.

Generalmente hay que usar los valores caloríficos efectivos. Si éstos no están disponibles, pueden utilizarse los valores caloríficos indicados en la hoja 4 para la conversión de los valores del balance. La hoja 4 es imprescindible para la conversión de corriente eléctrica, oxígeno, agua, aire comprimido, etc. Por consiguiente cada entrada y/o cada suministro de energía o calor debe ser convertida en millones de kcal.

Las columnas 3 y 4 incluirán los gastos (en el caso de producción propia) o los precios (en el caso de compra de terceros). Los datos deben ser indicados en unida-

des monetarias por 100 Nm³ o t y en la cuarta columna en unidades monetarias por millón de kcal. La cuarta columna incluye el llamado *precio calorífico* referido a un millón de kcal.

Las columnas quinta y sexta indican así mismo los promedios mensuales de la planificación para un período entre 1970 y 1975.

Las cantidades de energía o calor son subdivididas en entrada de calor a la planta y en suministro de calor a terceros fuera de la planta siderúrgica. Esta subdivisión es de gran importancia, calculándose de estos valores el llamado *consumo energético neto de la planta*, es decir, como diferencia entre las entradas y los suministros de calor.

Si se suministra o se recibe energía adicional no contenida en estas columnas es preciso indicarlo por separado. Para este fin la hoja respectiva ofrece espacio para observaciones.

III. Balance de energía con coquería.

Para el balance de energía III rigen las mismas condiciones del balance de energía II, con excepción de que en este caso el balance incluye las coquerías.

Tratándose de una planta con coquería es deseable elaborar tanto el balance II como el balance III.

En el caso de producirse solamente una parte del coque en una coquería de la planta, hay que mencionarlo en las columnas correspondiente.

La hoja 4 incluye los valores caloríficos para la conversión de los valores del balance, si no se dispone de los valores caloríficos efectivos. Para corriente eléctrica, oxígeno, agua y aire comprimido se indican valores caloríficos equivalentes, los cuales hay que multiplicar por las cantidades correspondientes para obtener el consumo calorífico.

Cuestionario para la economía energética de plantas siderúrgicas mixtas.

Planta:

País:

Unidad monetaria:

Sección de la planta

Especialista:

I Características de producción	promedio mensual en el año 1967/68		gastos unidad monetaria/t producción	promedio mensual de la planificación p. 1970 - 75	
	kg/t acero en bruto	producción en 1000 t		kg/t acero en bruto	producción en 1000 t
1. producción de arrabio					
2. producción de acero en bruto a saber: a) acero SM b) acero Thomas c) acero eléctrico d) acero al oxígeno (acero LD) e) otros aceros					
3. productos de acero bruto a) productos elaborados en caliente b) a saber productos semi-acabados para terceros					

Cuestionario para la economía energética de plantas siderúrgicas mixtas.

II Balance de energía sin coquería		promedio mensual en el año 1967/68	gastos o precios	promedio mensual de la planificación P 1970 — 75			
		cantidad abs. en 1000 Nm³ ó t.	10 kcal/t acero en bruto	unid. monetaria / 1000 Nm³ ó t.	unid. monetaria / 10⁶ kcal/t	cantidad abs. en 1000 Nm³ ó t.	10⁶ kcal acero en bruto
1. entrada de calor a la planta siderúrgica							
a) consumo de coque de alto horno							
b) otros consumidores de combustibles sólidos (planta de sinterización, alto horno, acería, central eléctrica)							
c) consumo de combustibles líquidos (petróleo, aceite de alquitrán)							
d) gas de coque							
e) gas natural							
f) otros combustibles gaseosos (p. ej. gas líquido, gas de refinería)							
g) energía eléctrica, adquirida fuera de la planta							
h) vapor adquirido fuera de la planta							
i) oxígeno adquirido fuera de la planta							
k) gas de alto horno adquirido fuera de la planta							
Suma del calor entregado en 10⁶ kcal/t de acero en bruto.							
2. calor suministrado a empresas ajenas, en forma de:							
a) gas de alto horno							
b) vapor							
c) corriente							
d) agua y aire comprimido							
e) oxígeno							
Suma del calor suministrado en 10⁶ kcal/t acero en bruto							
3. Consumo de energía de la planta							

Cuestionario para la economía energética de plantas siderúrgicas mixtas.

III Balance de energía con coquería	promedio mensual en el año 1967/68		gastos o precios		promedio mensual de la planificación 1970 — 75	
	cantidad abs. en 1000 Nm ³ ó t.	10 ⁶ kcal/t acero en bruto	unid. monet./ 1000 Nm ³ ó t.	unid. monet./ 10 ⁶ kcal/t	cantidad abs. en 1000 Nm ³ ó t.	10 ⁶ kcal acero en bruto
1. Entrada de calor a la planta siderúrgica						
a) carbón de coque						
b) todos los demás combustibles sólidos de procedencia exterior (planta de sinterización, alto horno, acería, central eléctrica)						
c) consumo de combustibles líquidos (aceite mineral, gasolina)						
d) energía electr. adquirida fuera de la planta						
e) vapor adquirido fuera de la planta						
f) oxígeno adquirido fuera de la planta						
g) gas de alto horno adquirido fuera de la planta						
h) coque de alto horno adquirido fuera de la planta						
i) gas natural						
j) otros combustibles gaseosos adquiridos fuera de la planta						
Suma del calor entregado en 10 ⁶ kcal/t acero bruto						
2. calor suministrado a empresas ajenas, en forma de:						
a) gas de alto horno						7.500 kcal
b) gas de horno de coque						7.000
c) vapor						3.500
d) corriente						1.000
e) aire comprimido						2.800
f) coque menudo a terceros						850
g) carbonilla						400
h) aceite de alquitrán						8.600
i) benzol en bruto						10.000
j) aceite pesado						10.000
k) oxígeno						850
Suma del calor suministrado en 10 ⁶ kcal/t acero en bruto						3.850
3. Consumo de energía de la planta						10.000
						7.500.
						4.000

Valores caloríficos para la conversión de los valores del balance

1 kg. Carbón seco	7.500 kcal
1 kg. coque seco	7.000
1 kWh Corriente eléctrica	3.500
1 kg. vapor	1.000
1 Nm ³ oxígeno	2.800
1 m ³ agua	850
1 Nm ³ aire comprimido	400
1 kg alquitrán y aceite de alquitrán	8.600
1 kg. benzol en bruto	10.000
1 kg. aceite mineral	10.000
1 Nm ³ gas de alto horno	850
1 Nm ³ gas de coquería	3.850
1 Nm ³ gas líquido	10.000
1 Nm ³ gas natural	7.500.
1 Nm ³ gas de refinaria	4.000

Propiedades de los materiales que forman la carga del horno alto

Dr. Fermín Juan Asensio Gonzalo

Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas. Madrid

Introducción.

La elección de materias primas férreas para el abastecimiento de la planta siderúrgica, ofrece como alternativas minerales, sinterizados, pelets y sus mezclas. En los últimos años son frecuentes los cambios de actitud para definir las propiedades ideales de las cargas del horno alto. Parece demostrado que las marchas con 100% de cada uno de los productos puros no son las más adecuadas por diversas razones, por tanto, queda como alternativa sus mezclas en distintas proporciones.

Obtener la carga ideal exige que toda ella esté preparada convenientemente del modo más económico para que en las condiciones específicas de una fábrica determinada proporcione: Una producción de arrabio elevada; un consumo específico de coque bajo; y una operación de los hornos altos suave y libre de trastornos circunstanciales.

Para cumplir estos objetivos en la planta siderúrgica, se puede considerar que la base actual de meditación tiene los siguientes problemas: a) ¿Qué materias primas se deben elegir? b) ¿Qué granulometrías han de tener? c) ¿Qué propiedades físicas? d) ¿Cuáles han de ser sus propiedades químicas?

Propiedades de las cargas.

No es fácil definir las propiedades que deben reunir individualmente los componentes de la carga. Actualmente se vienen aplicando cierto número de ensayos de laboratorio o planta piloto, para conocer el futuro comportamiento en el horno alto en determinados aspectos parciales que o bien están relacionados con los consumos de coque, caso de los ensayos de reductibilidades, o con la producción o permeabilidad de la carga, caso de los ensayos de degradación, o también con la previsión de ciertos trastornos operacionales, caso de los ensayos de hinchamiento, etc.

La determinación de las proporciones óptimas de sinterizados, pelets y minerales en la carga, se condiciona a las capacidades de fabricación o preparación individuales. Por lo que se refiere al tonelaje máximo de sinterizado que puede fabricarse en una instalación determinada, está relacionado con las propiedades de resistencia, reductibilidad e índice de basicidad que aquél debe incorporar al conjunto de las cargas.

En este cuadro general se comprende que las posibilidades son numerosas. La elección acertada de los materiales de la carga depende mucho de la información que puede obtenerse del departamento de investigación y desarrollo.

En lo que sigue, nos proponemos hacer una breve revisión de los ensayos y criterios a aplicar para obtener dicha información.

Contenido en Fe. Como todas las fórmulas para calcular los consumos de coque del lecho de fusión están basadas en el balance térmico deducido del balance de materias, es indudable que aquél será más favorable con los minerales de alta ley en hierro. Consecuencia de ello es que los minerales de baja ley son antieconómicos y que los de ley media están perdiendo sus mercados.

Granulometría de los productos.

La granulometría y distribución de tamaños de los materiales se determina fácilmente mediante clasificación convencional con cribas tipo, para lo cual se han establecido procedimientos normalizados.

El ideal está en la ausencia de finos menores de 5 mm para las magnetitas y de 8 mm en las hematites y que el tamaño máximo sea para los minerales 20, 25 ó 30 mm, para los sinterizados de 40 a 50 mm y para los pelets cualquiera de los del mercado por encima de 12,5 mm. La eliminación de los tamaños finos se justifica por considerar que son un veneno para la operación del horno alto y en cuanto a la elección del tamaño máximo en el que la tolerancia es mayor, aunque es la tendencia actual a disminuir, lo que se pretende es aumentar la permeabilidad del lecho y simultáneamente la homogeneización de la carga, que se considera imprescindible para evitar trastornos operacionales y favorecer la cinética de reducción indirecta, de modo que las cargas lleguen a la zona de fusión adecuada y homogéneamente reducidas. Trozos de minerales de tamaños superiores a los 40 mm presentan una reducción selectiva del interior al exterior de ellos, como se puede ver en las microfotografías de la fig. 1.

La forma geométrica de los pelets es la más favorable para conseguir el aumento de la permeabilidad que permite soplar mayores volúmenes de viento y en consecuencia aumentar la marcha del horno alto, pero tienen el inconveniente de disminuir su eficacia térmica estimada por la relación $\frac{CO}{CO_2}$ en el gas de tragante y de que sus precios son todavía elevados.

Los minerales y los sinterizados también confieren una permeabilidad buena si están bien clasificados.

Es bien conocido que la homogeneización de la carga es imprescindible para evitar trastornos en la marcha de los hornos. En ocasiones un único mineral presenta heterogeneidades como las de la fotografía 2, totalmente indeseables.

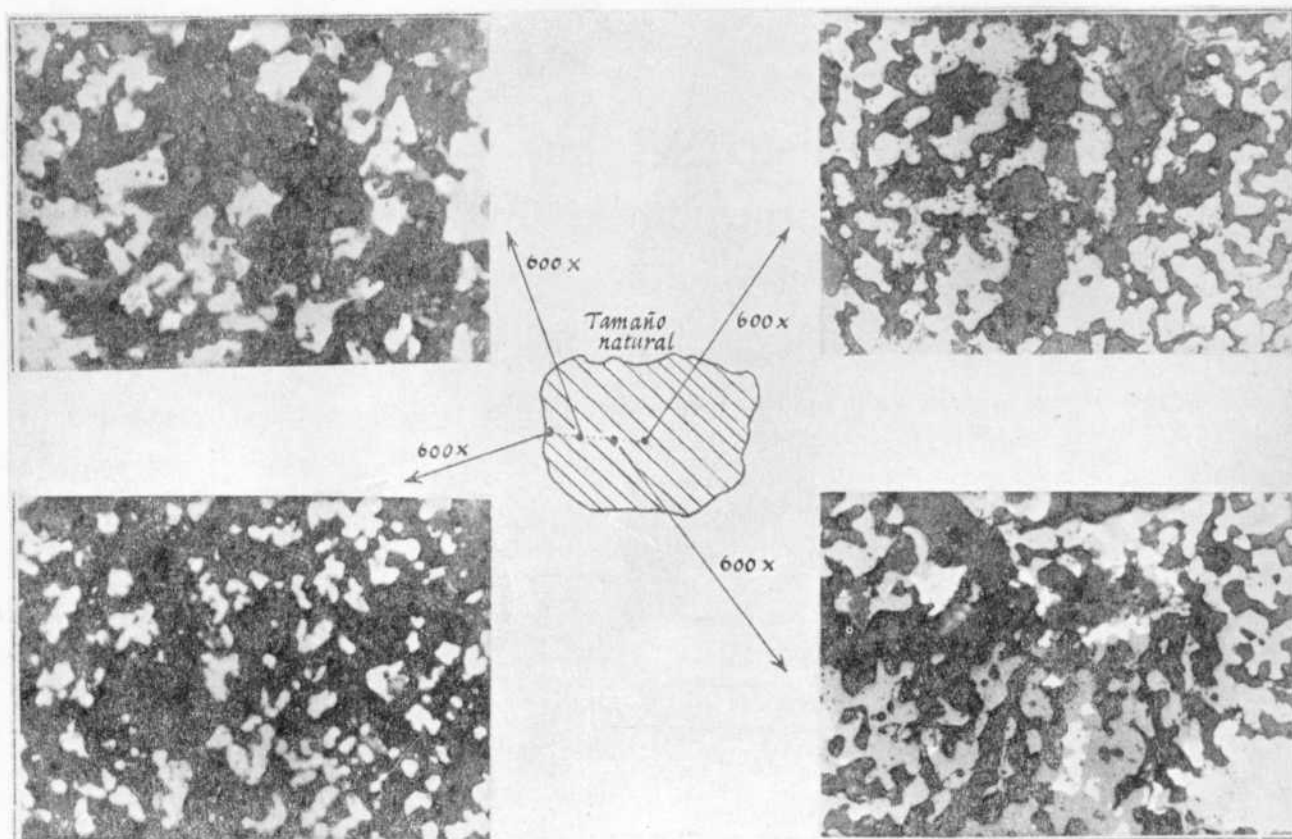


Fig. 1 — Reducción selectiva de los trozos de mineral cuyo tamaño es mayor de 40 mm.

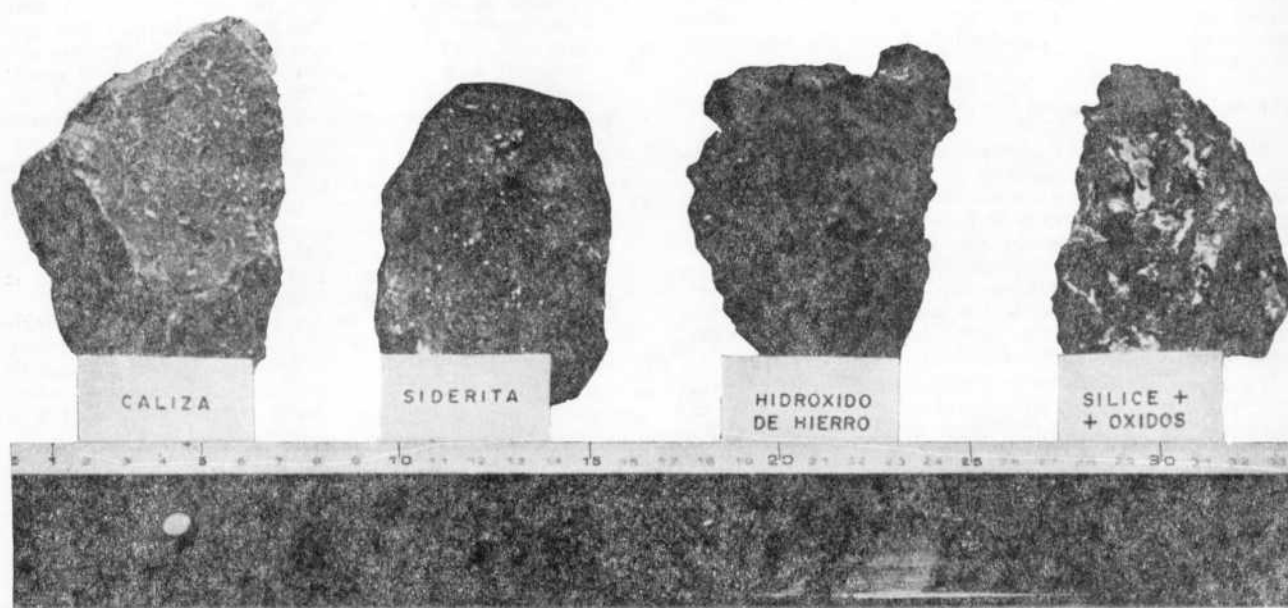


Fig. 2 — Heterogeneidades observadas en muestras de un mineral.

Para conseguir la homogenización es necesario un cribado previo de los minerales recibidos como todo-uno y posteriormente moler los trozos grandes para volverlos a cribar. Se consigue con tal operación un beneficio adicional que es el de la estabilización de las granulometrías y la disminución en la producción de polvo en los siguientes trasportes hasta el horno alto.

Por último se puede considerar como una cualidad importante la facilidad de transporte y cribado de los minerales todo-uno, de modo que los que tienen gangas arcillosas mostrarán tendencia a ser pegajosos y a aumentar su humedad y en el caso de disponer de instalaciones de capacidad de tratamiento limitadas, los minerales pueden perder su atractivo de utilización por ser muy difícil su manipulación, aunque posean otras ventajas.

Propiedades físicas.

Entre las propiedades físicas de las materias primas de la carga, las mecánicas constituyen un capítulo muy importante a tener en cuenta en el funcionamiento de la planta siderúrgica. La resistencia a la abrasión, la decrepitación y el hinchamiento se han estudiado separadamente con ensayos de laboratorio específicos. Sin embargo conviene revisar previamente los criterios comúnmente adoptados sobre la calidad física de los finos de minerales desde el punto de vista de su aptitud a la aglomeración. Es muy poco lo que se conoce con una base cierta. Las plantas siderúrgicas se rigen, en muchos casos, por un conjunto de empirismos tecnológicos para juzgar cuál es el tratamiento de aglomeración más adecuado para sus finos de minerales. En resumen tales empirismos son: la malla de cribado que retiene el 95% del total y las proporciones de finos menores de 0,150 mm, de 0,074 mm o mejor de 0,043 mm.

También se sabe que un cierto contenido arcilloso favorece el mezclado y formación de gránulos en la mezcla a sinterizar y la formación de la bola en la peletización.

Degradación y resistencia a la abrasión. La degradación y producción de polvos de los minerales en el manejo dentro de la fábrica parece estar en relación con su estructura petrográfica. Cualquiera que sea la causa, el efecto es un factor importante a considerar; de una parte se estima como una mala práctica la carga de tales finos y polvos en el horno alto y su destino obligado es la aglomeración que normalmente tiene una capacidad limitada, y por otra parte la producción de finos aumenta al aumentar la preparación y en consecuencia desborda a menudo la capacidad de aglomeración, por lo que es necesaria la selección de aquellos minerales cuya producción de finos esté equilibrada con la capacidad de aglomeración disponible. La resistencia mecánica de los materiales de la carga, principalmente el sinterizado, puede expresarse como resultado de diversos ensayos que determinan lo que se llama resistencia a la abrasión. De estos ensayos los más usuales son el Semimicum y ASTM, descritos en la bibliografía.

El análisis estadístico de los resultados comparativos de ambos tambores realizados en la BISRA puso de manifiesto que no hay diferencias significativas en la reproducibilidad de los resultados de ambos tambores individualmente. Hay diferencias significativas en cuanto a los resultados obtenidos que dependen de las características físicas de los materiales ensayados (magnetitas duras, hematites blandas, dos tipos de sinterizados y pelets comerciales). En el Semimicum que tiene mayor índice de abrasión se puede tomar como una ventaja adicional el ser menor la muestra a ensayar.

Como se necesita disponer de un procedimiento para tratar pequeños pesos de muestra inferiores a los que incorporan los tambores Semimicum y ASTM, se ha proyectado en el CENIM un nuevo tambor de 32 cm de diámetro por 10 cm de ancho que gira a 70 r.p.m. En él se han tratado 250 g de distintas muestras de hematites blandas, magnetitas compactas, dos tipos distintos de sinterizado y

tres tipos de pelets separadamente, durante tiempos de 15, 30, 45, 60 y 120 min. permitiendo los resultados seleccionar el intervalo de 30 min. como valor más adecuado para conseguir una reproducibilidad suficiente, con una degradación más acusada que la de otros tambores análogos.

Decrepitación de minerales. La degradación de tamaños de los materiales cargados en el horno alto, según ciertas opiniones, se produce por simple choque térmico, es decir, por el aumento de la temperatura que sufren las cargas al ser introducidas dentro del horno alto, que es distinta de la degradación debida a la reducción de hematitas a magnetita, que parece ser el paso que mayor producción de finos origina. Separar ambos fenómenos en la planta es imposible, pues el aumento de temperatura de las cargas lo reciben en una atmósfera reductora y por consiguiente los materiales se calientan y se reducen simultáneamente tan pronto como son cargados. Ahora bien, ambos fenómenos pueden determinarse separada y experimentalmente en el laboratorio. La degradación debida a la reducción se determina fácilmente con el ensayo de reductibilidad y la imputable al choque térmico se realiza por el simple calentamiento al aire de la muestra.

Como en la mayor parte de los ensayos de éste Informe, el tamaño de la muestra ha sido 5 — 40 mm, los resultados obtenidos se recogen en la Tabla I que incluye los % de las fracciones 2,4 — 5 mm y 0 — 2,4 mm producidos en el ensayo.

TABLA I.— DECREPITACION DE MINERALES

Mineral		Decrepitación			
		400°C 2,4-5	0-2,4	600°C 2,4-5	0-2,4
Hematites compacta	(1)	4,2	0,8	7,2	1,5
Magnetita granulada		0,0	0,0	0,4	0,2
Hematites + limonita porosa	(1)	0,9	1,5	1,5	1,2
Hematites + carbonat. Oolítico		5,8	0,6	2,0	0,9
Hematites + limonita porosa	(2)	0,7	0,6	1,0	0,8
Hematites + limonita porosa	(3)	4,9	0,6	0,5	1,0
Hematites + limonita porosa	(4)	10,1	0,6	11,6	0,5
Magnetita + hemat. compacta con poros		0,0	0,0	0,2	0,1
Oxidos + carbonatos porosa compacta		7,6	0,6	8,4	0,4
Hematites compacta	(2)	0,0	0,0	0,0	0,0
Magnetita + hemat. compacta y grano fino		0,2	0,5	1,0	1,2
Hematites compacta	(3)	4,0	0,6	4,0	0,9
Oxidos + limonita porosa		0,4	0,8	0,8	0,4
Hematites porosa		2,5	0,2	2,0	0,2
Magnetita compacta		0,0	0,0	0,3	0,0
Hematites + limonita porosa	(5)	1,1	0,2	0,8	1,9
Hematites + limonita compac.		0,8	0,6	0,9	0,7
Hematites + limonita porosa	(6)	1,73	0,3	1,0	0,3
Oxidos porosa	(1)	1,88	1,74	2,80	2,70
Oxidos porosa	(2)	0,3	0,2	1,1	2,0
Hematites + limonita porosa	(7)	1,05	0,9	1,1	0,7
Hematites compacta	(3)	3,20	0,9	3,0	0,9

En general la decrepitación térmica de los minerales españoles es reducida. Puede establecerse una apreciación selectiva considerando como signo perturbador la producción de un 5% de finos menores de 5 mm.

También se han estudiado cinco muestras de mineral importado y bien clasificado, pero al estimar que su carga en el horno alto se hará tal y como se recibe, el tamaño de la muestra a ensayar fué el de la fracción granulométrica 13 — 20 mm. Después del ensayo se tamizó a 7,5 mm indicándose en la Tabla II los % de la fracción menor de dicha dimensión.

TABLA II.— DECREPITACION DE MINERALES IMPORTADOS

Mineral	Temperatura	
	400°	600°
Hematites 1	6,7	14,5
Hematites 2	0,0	0,0
Hematites 3	0,6	3,3
Hematites 4	0,4	2,5
Magnetita	0,0	0,1

Hinchamiento.

Al enriquecer el lecho de fusión utilizando pelets se ha observado que ha adquirido una importancia capital un fenómeno conocido desde hace tiempo, pero que no producía trastornos con los materiales de carga convencionales. Ocurre que algunos pelets ricos al reducirse aumentan de volumen o se fragmentan considerablemente o experimentan ambos fenómenos simultáneamente.

El hinchamiento o abultamiento de tales materiales con la reducción ha sido causa del bloqueo de varios hornos altos en los últimos años, y con tal motivo se ha venido realizando recientemente un gran esfuerzo de investigación para poner a punto los métodos de laboratorio que permitan conocer este comportamiento de los materiales de la carga y evitar los inconvenientes mencionados, que en ocasiones han llegado a ser catastróficos.

Son dos los métodos de laboratorio puestos a punto para determinar el grado de hinchamiento. El primero es un dilatómetro que permite estudiar la muestra en condiciones reductoras. El segundo es un volumenómetro que utiliza mercurio como líquido de elevada tensión superficial para determinar el volumen de las muestras iniciales y en diferentes grados de reducción.

En el CENIM se han construido y empleado dos volumenómetros de distintas capacidades para poder determinar los volúmenes de las muestras minerales de tamaños muy diferentes, y se han aplicado extensamente al estudio de las variaciones experimentales de volumen de los minerales clásicos nacionales que componen los lechos de fusión propios. Los resultados obtenidos se recogen en la Tabla III y se refieren a muestras minerales de granulometría 5 — 40 mm. A diferencia de lo que ocurre con los pelets, con los minerales hay en la mayoría de los casos una disminución de volumen, lo que no es contrario a los resultados obtenidos en el CNRM, pues los minerales estudiados en el CENIM tienen un contenido de ganga varias veces superior al de los pelets comerciales y las pérdidas por calcinación de los minerales son normalmente elevadas y crean una porosidad grande en su seno que anulará las dilataciones debidas a los cambios de sistemas cristalográficos ocasionados en la reducción de Fe_2O_3 a Fe_3O_4 de Fe_3O_4 a FeO , originando en definitiva una contracción de volumen. Unicamente en el caso de hematites que proceden de la tostación de carbonatos hay un moderado hinchamiento con la reducción.

TABLA III.— VARIACION DE VOLUMEN DE LOS MINERALES CON LA REDUCCION

Mineral	Pérdidas calcinación %	Antes Fe t %	Después Fe t %	Variación de volumen %
Hematites compac.	7,95	56,2	64,6	— 21
Magnetita granulada	0,0	57,5	62,1	— 31
Hematites+limonita porosa 1	10,83	51,1	62,3	— 16
Hematites+carbonat. Oolíticos	4,49	47,7	51,9	— 10
Hematites+limonita porosa 2	11,06	48,8	55,5	— 15
Hematites+limonita porosa 3	11,79	53,9	62,8	— 23
Hematites+limonita porosa 4	11,48	50,1	57,5	— 20
Magnetita+hematites compacta con poros	0,26	48,7	68,1	— 0
Oxidos+carbonato poroso compacto	11,24	44,4	57,5	— 10
Hematites compacta 2	0,73	67,4	70,1	— 41
Magnetita+hematites compacta y grano fino	2,49	66,0	79,9	— 0
Hematites compacta 3	1,40	46,4	54,6	— 3
Oxido+limonita porosa	11,23	50,2	67,6	— 24
Hematites porosa	0,43	51,9	—	— 3
Magnetita compacta	0,0	46,4	49,2	0
Hematites+limonita porosa 5	11,49	51,9	71,1	— 28
Hematites+limonita compacta 1	11,21	53,8	68,9	— 26
Hematites+limonita porosa 6	10,26	47,9	61,0	— 12
Oxidos porosos 1	10,74	53,9	64,6	— 3
Oxidos porosos 2	6,06	57,5	59,2	— 6
Hematites+limonita compacta 2	9,64	47,9	69,2	— 20

Excepcionalmente aparece un hinchamiento acusado del 41% con la hematites compacta 2 y esta circunstancia recomienda limitar su proposición de participación en el lecho de fusión. Aunque en ocasiones se han llegado a encontrar aumentos de volumen hasta del 100%, parece ser que los aumentos moderados de volumen son tolerables y si se trata de fijar un valor máximo permisible, lo estiman opiniones autorizadas en un 20% de hinchamiento, pudiéndose aceptar valores más altos siempre que la resistencia mecánica a la compresión y a la degradación con la reducción sea elevada después de haber experimentado el hinchamiento.

Propiedades químicas

Las buenas propiedades químicas de una materia prima no coinciden en muchos casos con las buenas propiedades físicas. Teniendo esto en cuenta, el acierto está en formar mezclas convenientes de modo que se contrarresten los factores negativos. Componer estas mezclas minerales de una manera técnica eficaz, supone estudiar las propiedades físicas y químicas de los minerales, sinterizados y pelets individualmente, y para ello se han desarrollado numerosos ensayos que proporcionan su estimación. A continuación nos proponemos hacer una breve consideración de las propiedades químicas más importantes.

Pérdidas por calcinación. Aún cuando un valor pequeño de las mismas tiene en general poca importancia pudiendo ser un factor favorable cuando se produce en la parte alta de la cuba del horno por el aumento de la porosidad y permeabilidad de la carga que favorecen la distribución del flujo de gases y las reacciones de reducción junto con la absorción de calor en dicha zona que contribuiría a mantener baja la temperatura del tragante, en principio las cargas bien preparadas deben estar exentas de carbonatos e hidratos. Ellos se justifica termodinámicamente partiendo del hecho que los potenciales de oxígeno en la fase sólida (mineral) son función de términos constantes con la variable exponencial de la relación de elementos reductores (CO y H_2) a elementos oxidantes (CO_2 y H_2O); por lo tanto al aumentar la concentración de éstos últimos componentes por descomposición de carbonatos e hidratos, disminuirá el poder reductor de la atmósfera gaseosa. En este aspecto tienen ventaja indudablemente los procedimientos de preparación de la carga que implican su calcinación (sinterización y peletización), pero es de notar que cuando los minerales no están constituidos por carbonatos e hidratos, la buena preparación no precisa de la calcinación.

En la operación diaria del horno alto es muy frecuente la adición de fundentes en forma de carbonatos. Se recomienda como buena norma el que la caliza y la dolomía tengan un intervalo de tamaño estrecho y de granulometría más bien baja, por ejemplo, que el 75% ó el 80% del total de la adición esté comprendido en 25 — 50 mm. El objeto de esto es que la calcinación se realice en la parte superior de la cuba, en una zona de pequeña profundidad y bien definida para que disminuyan las reacciones de disolución de carbono.

Índice de basicidad. El correspondiente a la carga del horno alto se suele expresar por la relación $\frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2}$ y en ocasiones por $\frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2}$ simplemente.

Es una propiedad complementaria de los componentes, cuyo valor deseado se consigue con adiciones de fundente ó bien incorporando un sinterizado super-autofundente de índice de basicidad elevado que compense la naturaleza generalmente ácida de minerales y pelets.

La caída brusca de la producción de la planta de sinterización cuando se fabrica sinterizado de índice de basicidad bastante elevado y la disminución de la resistencia del mismo pueden aminorarse cuando las condiciones generales de la planta permiten obtener dos tipos de sinterizados, uno ácido y otro superbásico, en proporciones tales que el índice de basicidad de la carga resultante sea el exigido. La explicación estriba en que la producción y resistencia del producto que pasan por un mínimo para índices comprendidos entre 1 y 1,5, vuelven a aumentar en el sinterizado superbásico.

De cualquier modo, es lógico que la proporción baja de componentes ácidos (SiO_2 y Al_2O_3) en los minerales, aumente su utilidad porque disminuye el volumen de la escoria por t de hierro. En el límite se puede llegar a una proporción demasiado baja como es el caso de algunos pelets fabricados con concentrados de minerales que dan lugar a propiedades mecánicas desfavorables para su tratamiento en el horno alto, sin olvidar que es necesario un volumen de escoria mínimo que asegure la desulfuración y cuanto menor es este volumen, las condiciones de marcha son más críticas.

El contenido de Al_2O_3 es un factor que hay que tener presente por su influencia en la fusión y fluidez de la escoria, debiendo procurar en cada caso la proporción más conveniente de acuerdo con los restantes constituyentes de aquélla para que dichas propiedades sean óptimas. En las prácticas españolas su valor está comprendido entre el 10% y el 17%, en las prácticas inglesas llega en ocasiones al 26%; el valor más frecuente en la

fabricación del arrabio es del 18%. Más importancia que su valor absoluto, la tiene la relación $\frac{\% \text{Al}_2\text{O}_3}{\% \text{SiO}_2}$, recordándose que el $\% \text{SiO}_2$ sea de dos a tres veces el $\%$ de Al_2O_3 .

Reductibilidad.

Se define como la facilidad para que cada trozo de mineral individualmente libere su oxígeno en una corriente uniforme de gases reductores, bajo determinadas condiciones de presión y temperatura.

Se reconoce la reductibilidad como el parámetro más importante en la caracterización de las propiedades de la carga. Su determinación experimental puede hacerse sometiendo a ciclos térmicos complejos e isotérmicos y variando la composición química del gas durante el ensayo o dejándola constante. Además, la muestra puede mantenerse en reposo (ensayos estáticos) o en movimiento (ensayo dinámico de Linder). Hasta la fecha no existe ningún ensayo tipo de reductibilidad que sea universalmente aceptado, si bien es de advertir que son grandes los esfuerzos encaminados a normalizar un procedimiento y que se está en vías de ello actualmente.

Los resultados de este Informe se expresan por el grado de oxidación después del ensayo, indicándose en ocasiones la velocidad con que se pierde el oxígeno y el tiempo necesario para alcanzar un determinado grado de oxidación.

Con los ensayos actuales se puede lograr una valoración suficientemente buena si las condiciones escogidas son bastantes aproximadas a las reales. De modo que se puede predecir cuáles serán las proporciones de reducción directa e indirecta y con ello establecer el balance térmico total del horno alto o hacerlo parcialmente por zonas para distintos niveles de temperatura, siendo en este último caso necesario conocer las temperaturas a las que tienen lugar las distintas reacciones.

Algunas de las limitaciones y desviaciones que encontramos en los aparatos estáticos se derivan principalmente de considerar al horno alto como un proceso ideal, despreciando muchos factores de importancia tales como la no uniformidad en la distribución de sólidos ni en el flujo de gases la eliminación de la abrasividad al considerar la carga estacionaria y del efecto de empaquetamiento por compresión al no tener que soportar distintas columnas de carga, la producción de polvos por choque térmico y químico y reacciones de disolución y depósito de carbono que modifican la composición y el flujo de gases, determinando además pasos preferenciales de los gases por ciertas zonas, sin olvidar el efecto de pared especialmente importante debido a las diferencias entre los diámetros del aparato y del horno alto. Otras simplificaciones consisten en despreciar los valores de las reductibilidades que pueden conseguirse a temperaturas inferiores a las del ensayo y en condiciones de atmósfera menos reductoras, frente a los que se obtienen con las del ensayo que son mucho más favorables a la reducción. Fenomenológicamente en el horno alto la zona de las condiciones citadas es la más extensa de la cuba y la más activa respecto a la reducción indirecta.

Al no conocerse con seguridad la participación del H_2 en la reducción indirecta, la mayoría de los aparatos precinden de él en la composición de la atmósfera.

Entre los numerosos ensayos estáticos que se encuentran en la bibliografía, los que hemos experimentado en el curso de los últimos cuatro años han sido el de Gakushin y el VDEh.

Ensayo Gakushin. El grado de oxidación se calcula por la pérdida de peso de la carga y por el análisis químico de la muestra reducida.

La fig. 3 recoge esquemáticamente los % de pérdidas de peso de los distintos pelets ensayados que pueden utilizarse como valores comparativos de sus reductibilidades.

En la fig. 4 se representa la relación del grado de oxidación calculado por el análisis químico con el tamaño de los pelets, observándose que los grados de oxidación aumentan con el tamaño de los pelets según la relación aproximadamente lineal definida por la ecuación: $Y = 14,2 x + 202$. Esta relación es lo más significativo de este ensayo.

Método VDEh. Como el anterior, es también de lecho estático e isotérmico. La diferencia fundamental radica en que con éste se sigue la cinética de las reacciones de reducción por las pérdidas de peso de la muestra que se determinan de modo continuo durante el ensayo.

De los resultados obtenidos tiene una gran importancia la duración del ciclo de reducción por estar relacionado con el tiempo de residencia de las cargas en la cuba del horno (zona de preparación o de reducción indirecta). La velocidad de descenso o el tiempo de residencia pueden determinar el grado de preparación con que las cargas pasan en su descenso a la zona de elaboración o de reducción directa y fusión.

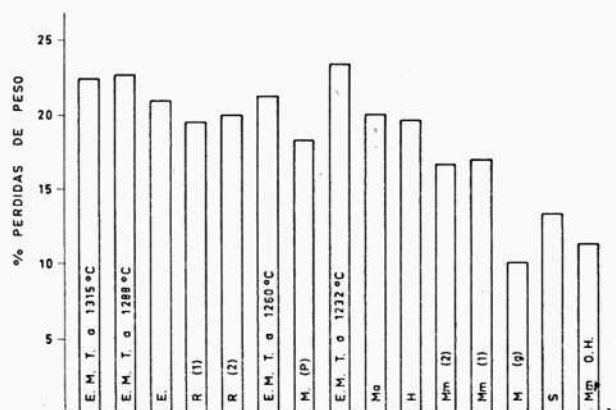


Fig. 3 — % pérdidas de peso en los pelets comerciales después de la reducción en el ensayo de Gakushin.

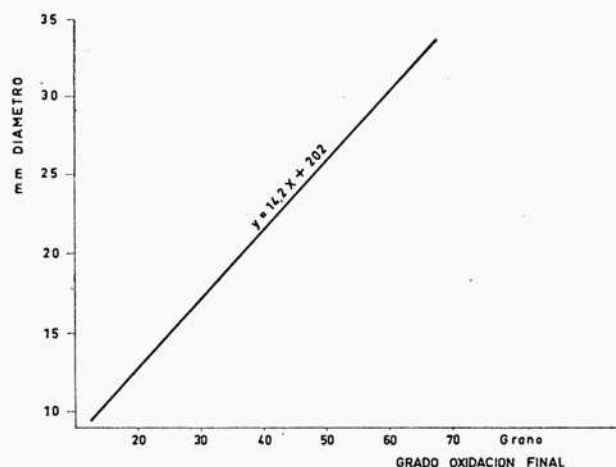


Fig. 4 — Relación tamaño del pelet. Grado final de Oxidación, en el ensayo de Gakushin.

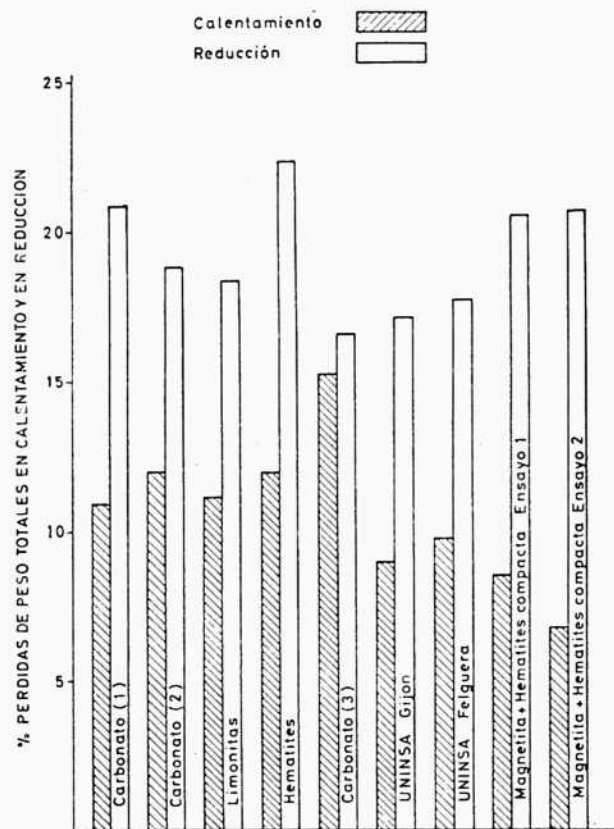


Fig. 5 — % pérdidas de peso en el calentamiento y en la reducción de distintos minerales reducidos en el ensayo VDEh.

La fig. 5 representa los % de pérdida de peso totales en los ciclos de calentamiento y de reducción imputables al agua y al anhídrido carbónico de descomposición de hidratos y carbonatos y al oxígeno eliminado por reducción respectivamente.

El comportamiento de los minerales durante los ensayos está representado detalladamente en la fig. 6 que relaciona los % de pérdida de peso con el tiempo, es decir, el comportamiento cinético de las muestras. Para cada mineral se obtiene una curva en dos tramos, el primero correspondiente al ciclo de calentamiento y el segundo al ciclo de reducción. Las abscisas del final del primer tramo que representan la duración de los ciclos de calentamiento deberían ser iguales para todos los ensayos dado el pequeño peso de muestra, pero las variaciones de tensión eléctrica, los errores personales y otros, introducen modificaciones en la duración. Mencionaremos por tanto la necesidad de transportar al origen las curvas de la reducción, cuando se requiera tener una visión comparativa de dos o más ensayos de reducción.

En la fig 6 está claramente diferenciada del haz de curvas la correspondiente al sinterizado. El ciclo de calentamiento primer tramo, pone de manifiesto la ventaja de la calcinación que presentan los minerales aglomerados sobre los minerales crudos. Sin embargo la reducción es considerablemente inferior a la de los minerales y se requerirá un mayor tiempo de residencia en la zona de preparación para alcanzar en definitiva un valor global de reducción considerablemente más bajo, lo que sugiere que debe revisarse la técnica de fabricación de tal sinterizado.

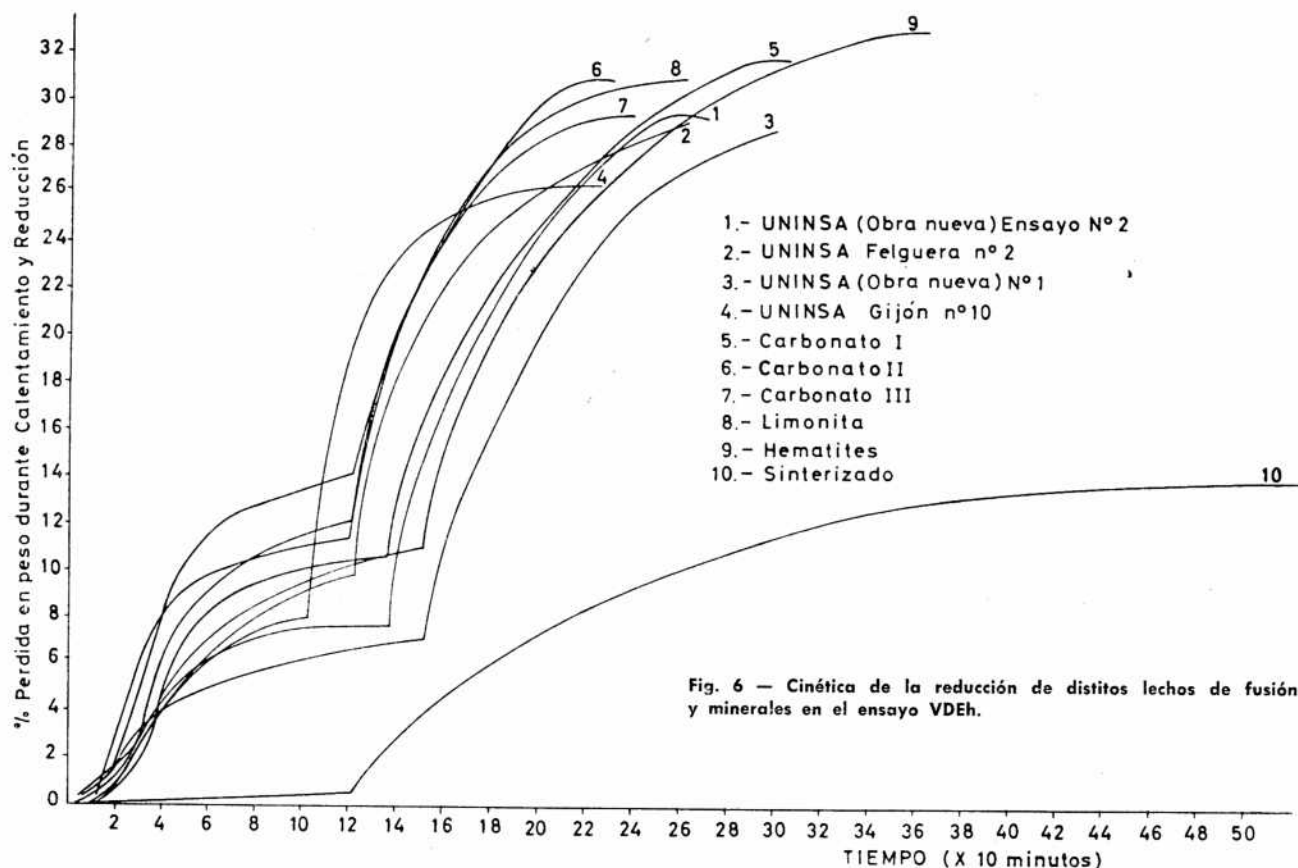


Fig. 6 — Cinética de la reducción de distintos lechos de fusión y minerales en el ensayo VDEh.

Por lo que se refiere a la forma de paliar las diferencias en las cinéticas de reducción de los minerales que constituyen el lecho, se pueden adoptar dos criterios: o bien limitar la participación de aquellos que introducen diferencias acusadas, o bien disminuir la malla de cribado de los que tienen una reductibilidad menos favorable para que el conjunto tenga una reductibilidad lo más homogénea posible.

Método de LINDER.

El método ideado por Rolf Linder permite determinar experimentalmente la reductibilidad y la degradación de las materias primas debida a la abrasión y a la reducción simultáneamente. Los ensayos de tipo dinámico los realizó en un aparato giratorio de laboratorio teniendo en cuenta las condiciones de la cuba de los hornos altos suecos y reproduciendo en un ciclo que dura 5 horas un calentamiento, composición y flujo de gases previamente fijados. Al finalizar el ciclo la muestra se enfría en atmósfera inerte, después de lo cual se descarga el tubo, se separa a mano el coque, se tamiza aquella por 1,68 mm y 0,595 mm y se hace el análisis químico calculándose a partir de él el grado de oxidación.

En general el ensayo de Linder es de gran utilidad para comparar entre sí reductibilidades de los materiales que componen la carga y también puede adaptarse al estudio de los efectos de la inyección de aceite pesado o hidrocarburos gaseosos con o sin enriquecimiento del viento, es decir, que permite simular cambios en la práctica del horno alto, aunque para correlacionar sus resultados con los de la marcha de éste se encuentran limitaciones tales como la falta de similitud en el contacto entre gas sólido en el horno alto y en el tubo del aparato de Linder.

El método se ha empleado para estudiar pelets comerciales y minerales que componen los lechos de fusión de tres plantas siderúrgicas españolas. La granulometría ensayada fué 5 — 40 mm siguiendo la recomendación de la "Comisión Técnica de Hornos Altos". Los resultados se recogen en la Tabla IV.

Se ha juzgado interesante comprobar las relaciones entre la granulometría de muestra y el valor final de la reductibilidad; para ello se seleccionaron siete minerales diferentes y se determinó la reductibilidad en dos fracciones granulométricas separadamente, la 6,3 — 12,7 mm y la 20 — 25 mm. Los resultados se recogen en la Tabla V. Como se esperaba, confirman las relaciones deducidas de los ensayos estáticos.

La degradación durante el ensayo es estimada por dos índices: los finos (0,595 — 1,68 mm) que pueden relacionarse con el trastorno operacional llamado cuelgues del horno y los (0—0,595), relacionados con las pérdidas de polvo en el tragante.

En general los niveles de reducción de los pelets están en razón inversa de las temperaturas de endurecimiento y su degradación es invariablemente pequeña.

En el caso de los minerales los resultados presentan un intervalo de variación mayor y que se extiende de las hematites blandas con la mayor reductibilidad a las magnetitas densas con la menor. La degradación, sin embargo, es mayor en las magnetitas que en las hematites, a pesar de la mayor dureza de aquéllas.

Generalmente cuando la degradación es grande se obtiene un grado de reducción mayor, pero esto no es siempre así como lo demuestra el caso citado de las magnetitas densas en estado natural, cuyas reductibilidades son menores por estar limitadas a una película superficial de pequeña penetración en la masa del grano de mineral.

TABLA IV.— RESULTADOS DEL ENSAYO LINDER

Mineral	% Fe _t	Oxidac.		Degradación Linder		
		Inicial	Final	0.595 1.68 mm	0-0.595 mm	
Hematites compacta	56,2	99,0	52,6	4,6	5,7	
Magnetita granulada	57,5	86,5	49,9	3,3	17,6	
Hematites + limonita porosa 1	51,1	99,7	45,8	7,1	12,4	
Hematites + carbonat. Oolítico	47,7	99,5	56,4	1,5	7,1	
Hematites + limonita porosa 2	48,8	98,5	59,0	4,1	5,9	
Hematites + limonita porosa 3	53,9	99,7	52,5	5,9	7,1	
Hematites + limonita porosa 4	50,1	99,7	58,1	7,7	16,1	
Magnetita + hematites compacta porosa	48,7	36,9	64,9	4,4	2,2	
Oxido + carbonato porosa compacta	44,4	99,6	68,9	3,8	3,8	
Hematites compacta 2	67,4	99,5	43,1	5,9	3,2	
Magnetita + hematites compac. y grano fino	66,0	99,2	40,7	27,1	6,7	
Pelets comerciales	68,1	99,8	48,6	0,5	4,0	
Pelets tostados en cuba 1	68,5	99,9	52,3	7,0	5,0	
2	64,1	98,1	50,0	15,0	12,6	
3	64,0	99,9	40,2	5,3	2,0	
4	63,8	99,5	48,8	2,0	2,8	
5	62,4	99,9	48,6	3,3	2,7	
6	62,3	99,6	51,0	6,2	4,6	
7	62,2	99,9	47,3	2,5	1,0	
Pelets tostados en banda 1	65,3	99,8	50,0	4,0	3,5	
2	63,3	99,4	52,9	1,0	1,0	
3	63,2	99,7	41,6	3,0	2,8	
4	62,6	99,1	51,4	4,3	2,4	
Pelets tostados en Grate Kiln 1	63,0	99,8	52,5	3,1	2,6	
2	61,1	99,1	57,0	1,0	2,6	
Hematites compacta 3	46,4	99,4	71,2	10,7	19,1	
Oxido + limonita poro.	50,2	99,7	62,1	6,1	13,2	
Hematites porosa	51,9	99,5	61,3	8,2	20,4	
Magnetita compacta	46,4	87,0	78,5	1,7	8,6	
Hematites + limonita porosa 5	51,9	99,7	23,9	8,4	12,4	
Hematites + limonita compacta 1	53,8	99,8	20,7	4,6	15,9	
Hematites + limonita porosa 6	47,9	99,65	30,7	6,7	7,4	
Oxidos-porosa 1	53,9	99,8	35,6	15,9	10,7	
Oxidos-porosa 2	57,5	95,65	27,6	10,7	19,1	
Hemat. + limo. comp. 2	47,9	98,7	37,1	6,0	9,9	

Esto constituye un claro ejemplo de que en el gobierno de la reducción predominan las condiciones cinéticas de reacción sobre las termodinámicas, favorables a una mayor penetración de la reducción. El mismo fenómeno se observa cuando la hematites en su primer estado de reducción origina una magnetita compacta o poco porosa que impide el progreso de la reducción.

Como resumen de lo expuesto puede decirse que en el acopio de minerales para su carga directa en el horno alto, el responsable de la selección debe establecer sus márgenes de tolerancia teniendo en cuenta la dispersión de los resultados de los ensayos de reductibilidad buscando siempre la mayor homogeneidad en el grado de oxidación final, que tiene más importancia que un valor abso-

luto bajo, pero con grandes diferencias de unos minerales a otros. Se deberán eliminar también en lo posible aquellos minerales que producen gran cantidad de finos.

Conclusiones.

El desarrollo contemporáneo de la técnica del horno alto se debe sobre todo a la preparación de la carga cuyo contenido de hierro debe ser elevado, fácilmente reducible y de granulometría homogénea. La política de selección de materias férricas para la práctica del horno alto moderno debe ser extremadamente cuidadosa. Las alternativas son muy variadas y las posibilidades numerosas. El acierto en la selección depende mucho de la información del departamento de investigación y desarrollo.

Siempre existe un método óptimo para preparar las mezclas minerales que componen el lecho de fusión y no hay que juzgar la calidad de un determinado mineral por alguna de sus características aislada, sino por el conjunto. Antes de descartar un mineral se debe buscar el adecuado tratamiento experimental para su utilización comprobando los resultados obtenidos mediante ensayos de calidad.

La preparación de la carga debe comenzarse con la clasificación rigurosa del tamaño de los minerales que se destinan al horno alto, que deben ser la fracción granulométrica 5 — 20 mm de las magnetitas y la 8 — 30 mm de las hematites, para que resulten estables a la degradación, homogéneas de composición y reducción y proporcionen buena permeabilidad al lecho de fusión.

La calidad de los minerales cribados depende del tipo de yacimiento, de su composición mineralógica y del tamaño de los granos. La calidad de sinterizados y pelets depende de las propiedades físicas y químicas de los minerales de partida, pero de modo fundamental de la habilidad técnica de los operadores de sus plantas de aglomeración.

TABLA V.— INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE LA MUESTRA EN LA REDUCTIBILIDAD LINDER

Mineral	Tamaño muestra en mm	% Fe _t	% Degradación			
			Grado oxidación %	0.595-0 1.68 mm	-0.595 mm	
Hematites + limonita	6,3—12,7	64,1	41	6	20	
	20 — 25		44	14	19	
Hematites A	6,3—12,7	54,6	35	2	5	
	20 — 25		42	2	3	
Hematites B	6,3—12,7	60,2	46	4	18	
	20 — 25		50	3	8	
Hematites C	6,3—12,7	49,7	57	2	7	
	20 — 25		58	4	8	
Hematites D	6,3—12,7	63,9	59	3	22	
	20 — 25		61	4	16	
Magnetita A	6,3—12,7	60,2	67	2	49	
	20 — 25		72	2	24	
Magnetita B	6,3—12,7	59,6	69	17	42	
	20 — 25		75	20	28	

La carga del horno alto de materiales finos menores de 5 mm se considera comunmente como una mala práctica que origina la mayor parte de los trastornos de marcha. Con la reducción de los minerales se produce una degradación dentro del horno localizada en la parte alta de la cuba, que disminuye la permeabilidad de la carga y con ella la producción, pudiendo ser causa de trastornos operacionales.

Generalmente los volúmenes de escoria pequeños que caracterizan los lechos ricos en hierro requieren revisar las instalaciones y extremar el conocimiento de las propiedades de la carga con riguroso control de todas las variables de la operación y de la composición química del lecho. Las pequeñas alteraciones pueden llegar a ser rápidamente críticas. Un parámetro muy importante de la escoria es la relación Al_2O_3 con SiO_2 que debe oscilar entre 0,50 y 0,33. El contenido de azufre en el coque puede limitar el enriquecimiento de los minerales por necesitarse un volumen de escoria mínimo para su eliminación. La producción específica de arrabio depende del volumen de escoria, pero al correlacionar ambos factores la dispersión es grande, lo que pone de manifiesto la influencia de otros factores.

La reductibilidad se reconoce actualmente como el factor más importante para definir las propiedades de las cargas del horno alto. Para una misma fracción granulométrica con minerales distintos tienen diferentes reductibilidades e índices de degradación que dependen de la composición y textura del mineral. Las reductibilidades de las hematites blandas son superiores a las de magnetitas

duras, ocurriendo lo contrario con las degradaciones. Los carbonatos de hierro se distinguen por sus elevados índices de reducción y degradación.

Los resultados experimentales confirman las ventajas de moler los minerales a tamaños relativamente pequeños y la posibilidad de obtener un lecho de reductibilidad homogénea mediante clasificación selectiva. El sinterizado ácido duro y con elevado contenido de FeO tiene una reductibilidad muy baja.

La reductibilidad de los pelets comerciales disminuye al aumentar el diámetro de las bolas y la temperatura de tostado. A igualdad de diámetro y de temperatura de tostado todos los pelets comerciales tienen reductibilidades e índices de degradación muy similares e independientes de los procedimientos empleados en su endurecimiento; siendo su degradación invariablemente muy pequeña.

La degradación de los minerales por choque térmico parece ser que está relacionada con su estructura petrográfica y es otro importante factor a considerar pues puede afectar profundamente a la operación del horno alto.

El hinchamiento de los minerales de la carga con la reducción no se presenta en los minerales españoles que generalmente son de ley media en hierro. Sin embargo, con las futuras importaciones se debe tener presente esta posible eventualidad, que puede ocurrir tanto con pelets como con minerales, originando trastornos operacionales. Un caso notorio es el de algunas hematites compactas de importación que presentan un elevado incremento de volumen con la reducción que supera los límites admisibles.

Puesta en marcha y operación de la máquina de colada continua de la sociedad siderúrgica de Chimbote S.A. (SOGESA)

Por los Ings. CARLOS BEINGOLEA y JOBST WASMUHT

Jefe y Asesor Técnico de la Planta de Acero.

El programa de ampliación de la Planta de la Sociedad Siderúrgica de Chimbote, S.A. (SOGESA) incluye una Planta de Colada Continua de palanquillas, desde una sección máxima de 150 x 150 mm a una mínima de 60 x 60 mm.

Se espera que la máquina diseñada por CONCAST A.G. de Zürich y construida por Schloeman A.G. de Düsseldorf pueda procesar aproximadamente 90.000 toneladas de la producción de la nueva Planta L.D., consistente en dos Convertidores de 25 toneladas cada uno, de capacidad inicial, los cuales comenzaron su operación en octubre de 1967.

Descripción de la Planta

La máquina, de cuatro líneas para palanquillas, es del tipo vertical, doblando las líneas con un radio de 6 metros aproximadamente, luego de pasar por rodillos impulsores.

En la plataforma de colada, a 10.8 metros sobre el nivel del piso (Figura N° 1) hay dos puestos de calentamiento equipados con quemadores de petróleo diesel, dos artesas de coladas (tundishes) y dos carros de transferencia de cucharas. Sólo una de las artesas de colada suministra acero líquido a las cuatro líneas (Figura N° 1-A). Los moldes son tubos de cobre de una longitud de 800 mm. para todas las secciones. Su movimiento, mediante leva, está sincronizado con la velocidad de los rodillos de tracción. La carrera respectiva es ajustable hidráulicamente entre un máximo y un mínimo sin necesidad de cambiar la leva.

El largo de la carrera es de 30 mm. para secciones de 100 x 100 mm. y de 35 mm. para secciones de 80 x 80 mm. A un promedio de velocidad de colada de 4 mts/min., la frecuencia es de 110 golpes por minuto.

Cada molde está lubricado separadamente con aceite de semilla de algodón.

La Cámara de los rodillos está sub-dividida en dos zonas y está equipada en toda su extensión con rociadores de agua. La primera zona en un largo de 1.1 mts. puede ser retirada con carros sin cambiar la mesa del molde. Ambas zonas de cada línea son controladas separadamente por medidores de flujo y puede ser regulado éste para las cuatro caras de las palanquillas. Las líneas están accionadas por cuatro juegos de rodillos impulsores, cada uno con dos pares de rodillos de acero enfriados por agua, y regulables por un equipo hidráulico a aceite. El accionamiento de éstos es efectuado mediante motores de 35 KW, corriente continua, con cajas de reducción y control electrónico.

A continuación y debajo de los juegos de rodillos impulsores están instalados los rodillos dobladores (Figura

N° 2). Un juego de cuatro líneas de rodillos enderezadores similares a los de los rodillos impulsores y dobladores, enfriados por agua, son accionados por cadenas y ruedas dentadas.

La estación de corte está equipada con cuatro sopletes de corte al oxi-propano, montados uno en cada línea y accionados hidráulicamente para el proceso de corte y mecánicamente para su retroceso (Figura N° 3).

Tablero de control

Para el control del funcionamiento de la máquina se cuenta con un tablero general (según Figura N° 4), en el cual se encuentran instalados los instrumentos para medida de lo siguiente:

- 1) — Temperatura del acero en la cuchara y en la artesa de colada;
- 2) — Velocidad de la colada;
- 3) — Cantidad de agua de las lingoteras (refrigeración indirecta);
- 4) — Cantidad de agua por zonas (refrigeración directa);
- 5) — Diferencia de temperatura del agua en las lingoteras (entrada y salida);
- 6) — Presión de agua de las lingoteras.
- 7) — Presión de agua en las zonas para cada lado de las palanquillas;
- 8) — Presión de los rodillos impulsores;
- 9) — Voltaje.

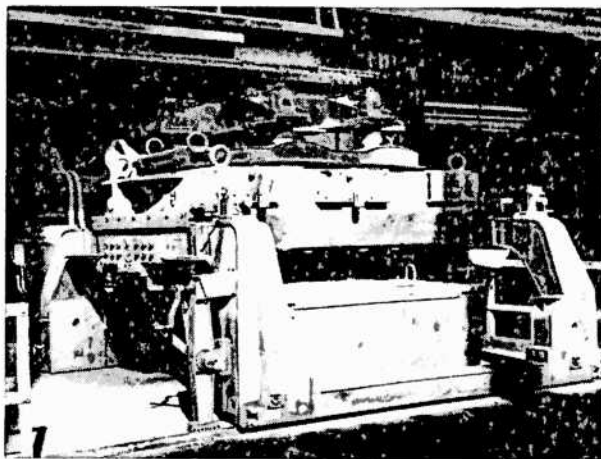


Fig. N° 1 — Tundish Artesa de colada en su puesto de calentamiento.



Fig. N° 1-A — Tundish en la operación de colar recibiendo metal de la cuchara.

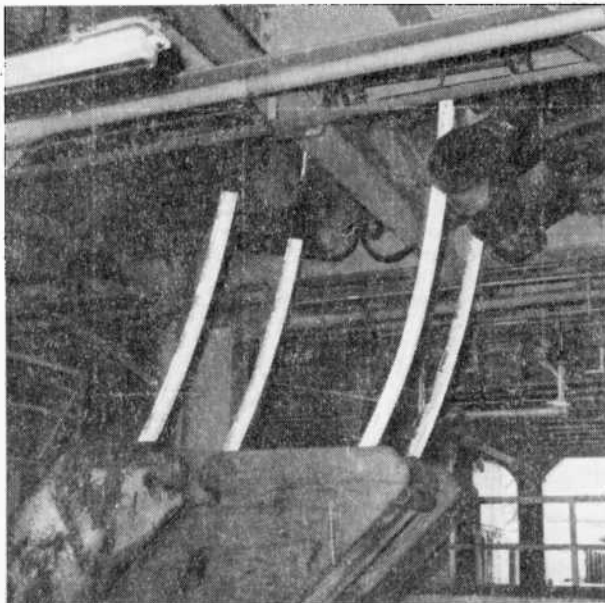


Fig. N° 2 — Rodillos dobladores.

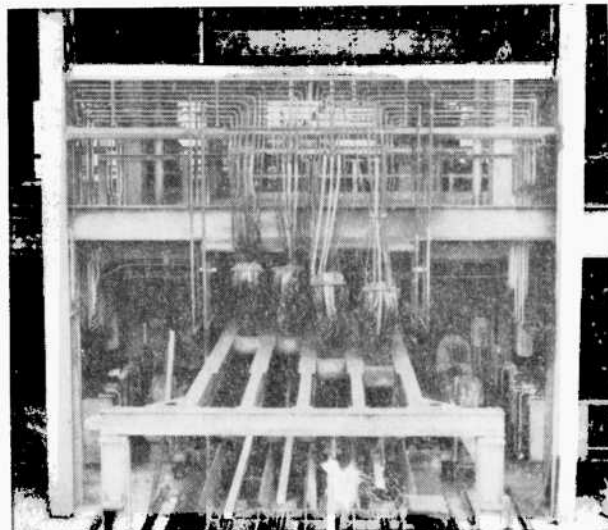


Fig. N° 3 — Estación de corte.

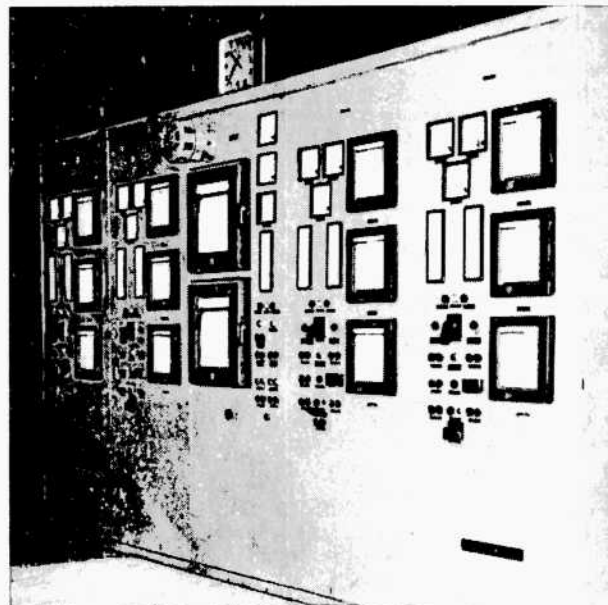


Fig. N° 4 — Tablero de Control.

Puesta en marcha y modo de operación

Las primeras coladas de prueba de la máquina tuvieron lugar en el mes de julio de 1966 con secciones de 100 x 100 mm., las que fueron suspendidas en el mes de agosto por vacaciones del personal. Se empezó con una sola línea por falta de operadores debidamente entrenados.

En septiembre del mismo año la sección de la palanquilla fue cambiada a 80 x 80 mm. iniciándose luego, a principios de octubre, la producción de colada continua que sigue hasta hoy en la misma dimensión.

Paso a paso tal como puede observarse en la Figura N° 5, las otras tres líneas entraron en operación tan pronto se pudo contar con personal preparado.

En ese entonces el suministro de acero procedía de dos hornos eléctricos a arco, de 30 toneladas de capacidad, con transformadores de 9.500 KVA cada uno y usando como carga 85% de chatarra y 15% de arrabio sólido. Una vez que se contó con personal disponible para tres turnos, la producción de acero de los hornos eléctricos se

dividió en coladas para lingotes y para la máquina de colada continua, correspondiendo a esta última la mayor parte.

En la acería producimos acero calmado al CaSi para la máquina de colada continua.

En el primer período de la puesta en marcha sólo podía colarse 10 toneladas en una o dos líneas y el saldo de acero de la cuchara se colaba en lingoteras. Después de una mes de instrucción se obtuvo suficiente número de operadores bien entrenados para la colada completa a 4 líneas. Capacidad total de la cuchara (30 toneladas). La cuchara es precalentada lentamente en la acería y la temperatura del acero listo para vaciar en el repartidor es de 1610 a 1630°C.

El repartidor, precalentado durante dos horas hasta llegar a 1100°C, tiene 4 toberas.

Dependiente de la cantidad de acero líquido en la cuchara, el promedio de tiempo por colada a cuatro líneas es de 35 minutos aproximadamente para 30 toneladas, siendo la velocidad de colada de cerca de 4 mts/min.

La cantidad de agua utilizada para cada molde es de 800 lts/min. y para el enfriamiento secundario se emplean 400 lts/min.

La temperatura en la superficie de las palanquillas al salir de la cámara de enfriamiento es muy uniforme, observándose unos 900°C en la zona del enderezador.

Las palanquillas pueden ser cortadas en largos que varían entre 2 y 9 metros. Son de excelente calidad, sin fallas internas ni de superficie y sin marcas de la oscilación, de tal modo que no es fácil ver si las palanquillas han sido laminadas o coladas. La cifra de rendimiento del acero líquido es alrededor de 95%.

En la Planta de Laminación, las palanquillas procesadas en la máquina son laminadas sin tratamiento especial en barras redondas, lisas o deformadas y en diámetros desde 1/4" (6,35 mm.) hasta 1" (25,4 mm.).

La mayor parte de la producción de la máquina tiene el siguiente análisis químico:

C: 0.28 — 0.35%; Mn: 0.45 — 0.60%; Si: 0.15 — 0.30%; P: máx. 0.035%; S: máx. 0.035%.

El resultado promedio de las pruebas mecánicas es:

Resistencia 49 — 63 Kg/mm²
 Límite de elasticidad 28 Kg/mm² mín.
 Elongación 12% mín.

Además, hemos colado sin ninguna dificultad los siguientes tipos de acero:

Acero estructural con: C: 0.22 — 0.28%; Mn: 0.60 — 0.90%; Si: 0.15 — 0.30%; S y P: 0.04 — 0.05%.

Eventualmente, procesamos algunos tipos de acero que, según creemos, no se han hecho antes en palanquillas de colada continua de sección tan pequeña (80 x 80 mm.) en ninguna otra parte. Son éstos los destinados a electrodos de soldadura, con análisis como los siguientes:

Elementos	Clase ARMCO	Clase OERLICON
C	0.08 — 0.13%	0.05 — 0.09%
Mn	0.40 — 0.55	0.50 — 0.60
Si	0.02 máx.	0.03 máx.
S	0.025 "	0.025 "
P	0.025 "	0.025 "

Debido a la limitación en el empleo de aluminio para desoxidar, las composiciones indicadas corresponderían a aceros efervescentes. Empleando, sin embargo, horno eléctrico de arco, carga de chatarra con arrabio sólido y adiciones desoxidantes luego de la fusión, nos ha sido posible obtener dichos aceros lo bastante calmados como para ser colados sin dificultad en la máquina de Colada Continua.

En el comienzo se presentaron algunos problemas con el equipo de corte, los que desaparecieron con el cambio de las boquillas en los sopletes por un tipo mejor.

Desde julio de 1967, por el establecimiento del tercer turno, la máquina quedó capacitada para colar un promedio de tres coladas por turno.

El Alto Horno, de capacidad nominal de 500 t/día, se puso en marcha el 14 de diciembre de 1967, y en la actualidad se encuentra trabajando al 70% de su capacidad por no contarse todavía con la laminación de productos planos, que dentro de dos años creará la necesidad de mayor producción de hierro y acero.

El arrabio es enviado al Mezclador de 800 toneladas de capacidad de la Acería L.D. por medio de carros torpedos. En vista de que la Acería no trabaja los domingos, estamos obligados a absorber en 6 días la producción de 7 días del Alto Horno.

Los Convertidores L.D. se pusieron en marcha el 7 de noviembre de 1967, a dos turnos y con arrabio de los hornos eléctricos ELKEM hasta el 20 de diciembre de 1967, fecha en que se pasó a trabajar con arrabio del Alto Horno y con el mezclador. A partir del 12 de febrero de 1968 se comenzó a trabajar a tres turnos en la Acería L.D.

El arrabio del mezclador es pasado al Convertidor por medio de una grúa con balanza y la cantidad con que estamos cargando los Convertidores es entre 30 y 32 toneladas.

El tiempo de soplado entre carga y carga es de 35 minutos. En caso de necesitar carga fría utilizamos pélets en reemplazo de chatarra debido a su mejor resultado económico.

Durante el tiempo de soplado, el contenido de carbono se reduce en más o menos 20 puntos por debajo del requerido, recarburándose luego con coque en la cuchara para lograr el análisis final que se requiere.

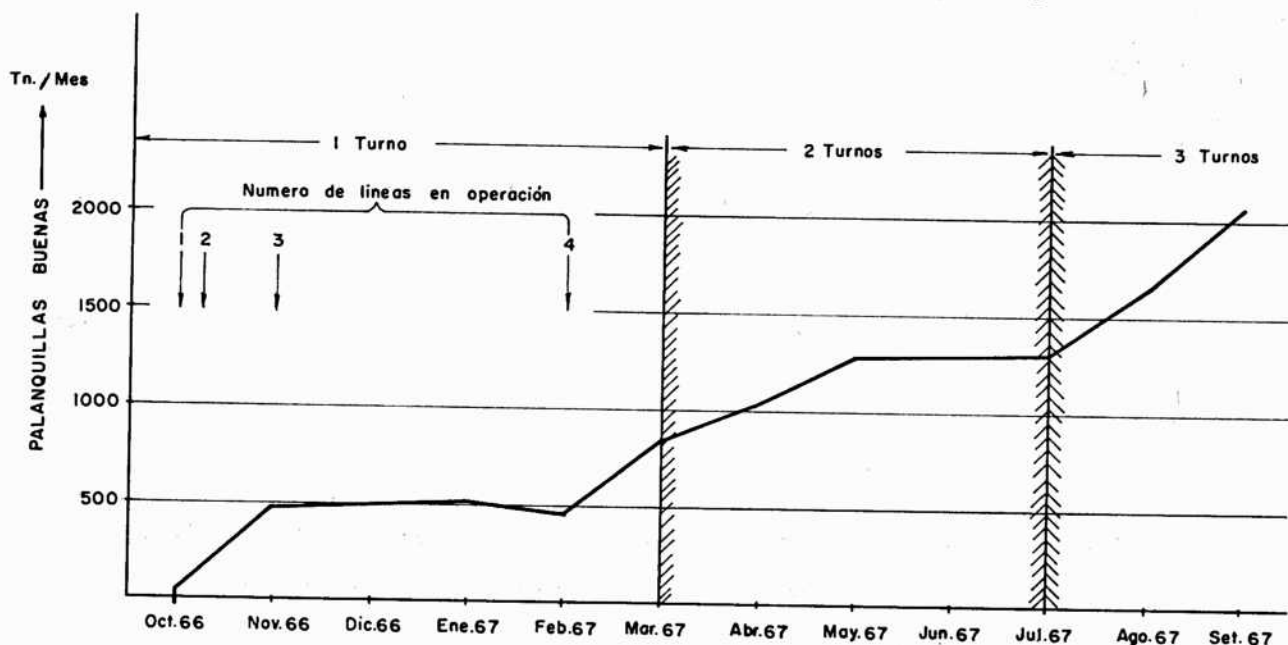


Fig. Nº 5 — Forma de Operación durante la puesta en marcha 1 a 3 Turnos; 1 Línea a 4 Líneas.

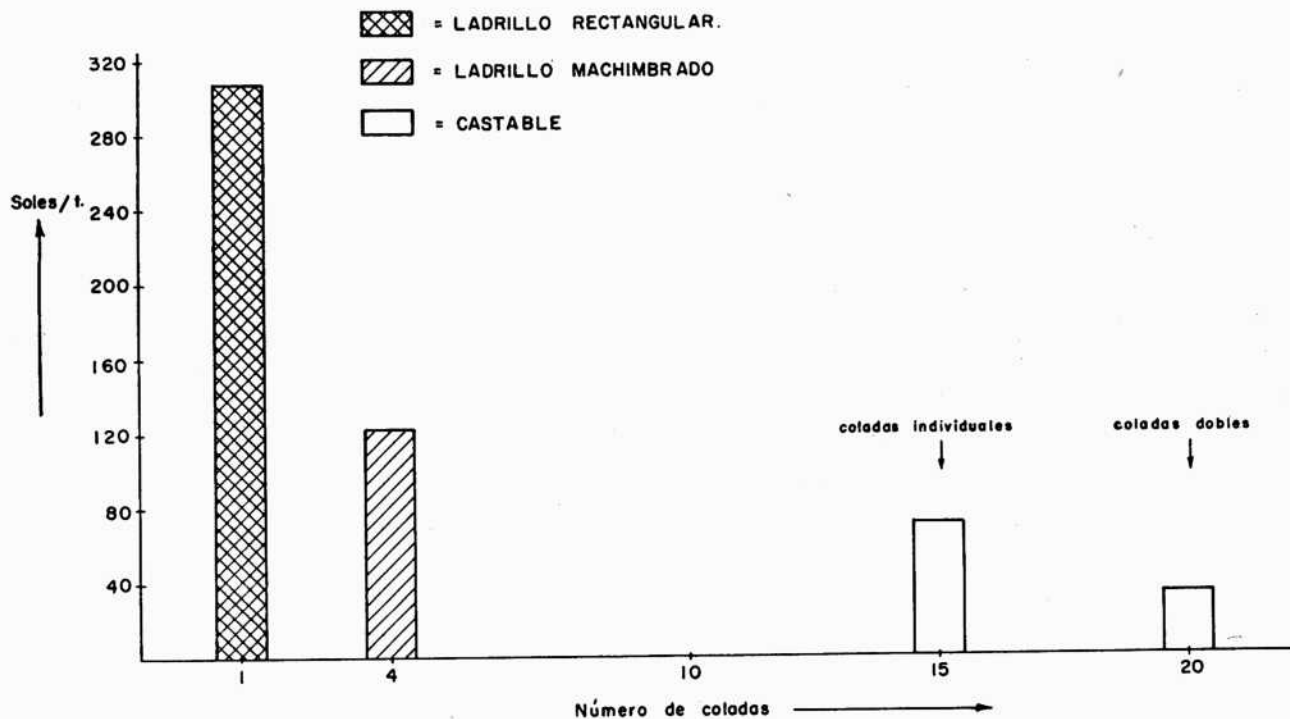


Fig. N° 6 — Costos del Material Refractario de tres diferentes tipos de Tundish.

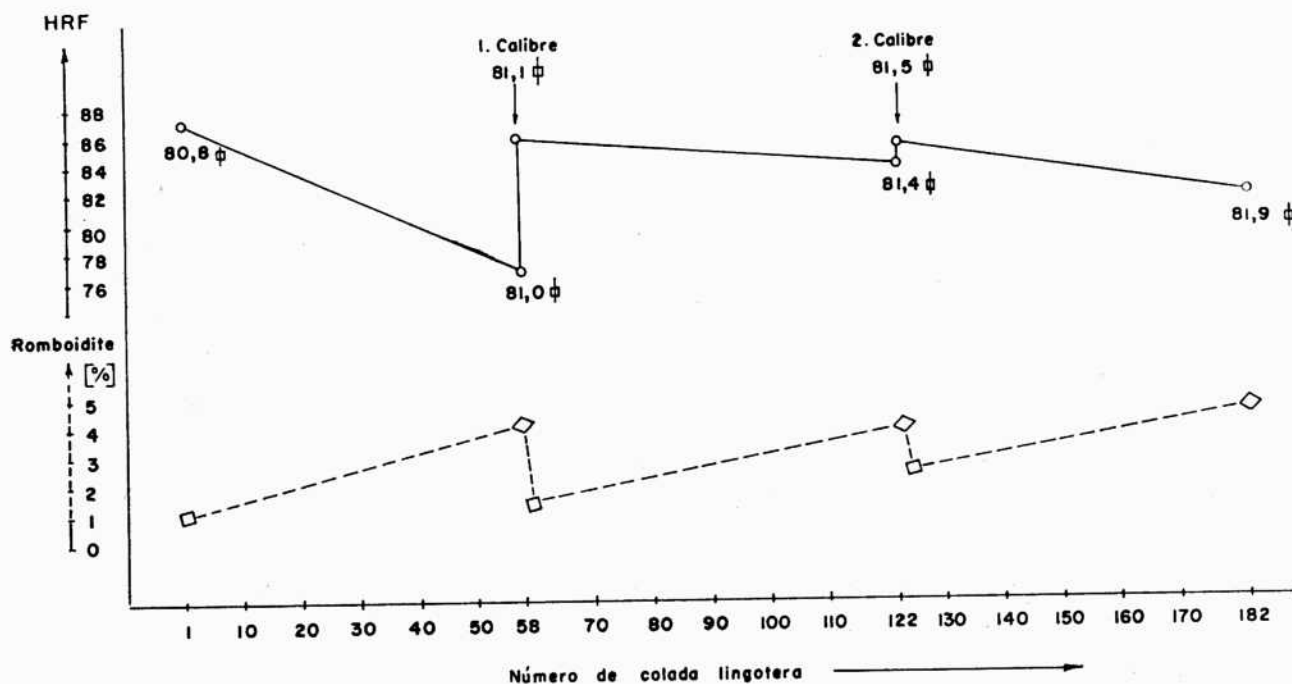


Fig. N° 7 — Influencia de la Calibración: a) en la dureza (Rockwell-HRF); b) en la romboïdite (%); c) en la vida de la lingotera (N° de coladas).

Junto con la recarburación se procede a la desoxidación parcial, terminándola con la adición de calcio silicio, ferrosilicio y aluminio; este último en un máximo de 200 gramos por tonelada.

El tiempo de la colada y transporte de la cuchara por medio de un carro de transferencia hacia el ala de colada de los Convertidores L.D., donde la grúa de la máquina coje la cuchara y la lleva hasta el nivel de 14 mts., es de cerca de 5 minutos.

Siendo el tiempo promedio entre colada y colada en los Convertidores, similar a los tiempos de la Colada Continua, ha sido posible llegar al trabajo normal de dos coladas por artesa de colada y en caso de algún retraso en la Acería, procedemos a parar una de las líneas de la máquina, con lo cual ganamos tiempo y no interferimos el proceso de dos coladas por artesa de colada.

Con este sistema de trabajo es posible hacer dos coladas dobles por turno sin mayor dificultad, con lo cual la producción anual en la Máquina puede llegar fácilmente a 90.000 toneladas.

Con este sistema de colada doble obtenemos los siguientes beneficios:

- 1) — Un mayor rendimiento de acero en palanquillas.
- 2) — Ahorramos tiempo en la preparación de la máquina.
- 3) — La duración de las artesas de colada aumenta, con la respectiva baja de costos en refractarios, como se muestra en la Figura N° 6.
- 4) — Bajamos costos en la mano de obra de los albañiles que confeccionan las artesas de colada.
- 5) — Economía de petróleo por calentamiento de tundish.
- 6) — Lo más importante es que la producción sobrepasa a la garantizada por el proveedor, que es de 70.000 ton/año.

Lingoteras

El problema metalúrgico más importante en la Colada Continua es eliminar el sobrecalentamiento del acero con respecto a la temperatura de solidificación y luego evacuar el calor latente.

La función principal de la lingotera es formar una piel resistente a las perforaciones por el metal líquido. La solidificación total se logra luego de la salida de la lingotera por enfriamiento directo.

El espesor de la piel en el momento de la salida de la lingotera depende de la sección de la palanquilla y de la presión ferrostática.

La evacuación de calor que se necesita efectuar es la correspondiente al punto en que se contrae el acero en la lingotera.

El coeficiente de transmisión de calor está entre 1000 y 1500 Kcal/m². hr. °C.

Este coeficiente depende del acero, de la temperatura de colada, de la velocidad de colada y del enfriamiento de la lingotera.

La correspondiente transmisión de calor se realiza solamente durante el tiempo en que el acero está en contacto con el cobre de la lingotera; luego el acero deja este contacto debido a su contracción desde una distancia mínima de 50 mm. y una máxima de 20 mm. debajo del nivel del acero líquido. En tal momento la transmisión de calor baja bastante debido a la formación de una cámara de aire entre el acero y la lingotera y el respectivo coeficiente se reduce a 200 — 400 Kcal/m². hr. °C.

La capacidad de transmisión de calor de la lingotera sube con la velocidad y temperatura de colada y la conicidad de la lingotera, y va disminuyendo con el número de coladas y la dureza del agua de refrigeración.

En Chimbote las lingoteras que se utilizan son tubos cuadrados, de cobre, con un espesor de pared de 6 mm. La duración de la lingotera examinada, a que se refiere la Figura N° 7, fue de 182 coladas, habiéndose efectuado a la misma dos calibraciones y colocándose invertida luego de cada calibración.

Considerando una campaña de 182 coladas, los costos de lingotera de cobre son de S/ 3.50 por tonelada de acero.

La dureza y la regularidad de la sección de la lingotera mejoran por la calibración. La máxima romboidicidad llegó hasta 4.8%, comenzando entonces las primeras grietas longitudinales en las aristas de las palanquillas. Si estas grietas son más profundas pueden producir perforaciones.

Al final de la campaña la lingotera mostró un desgaste de 1 mm. en los extremos y de 0.6 mm. en el centro.

Con la experiencia de la campaña de la lingotera dada de baja, en la actualidad se retiran cuando tienen 50 coladas para su primer calibrado y se vuelven a poner en servicio.

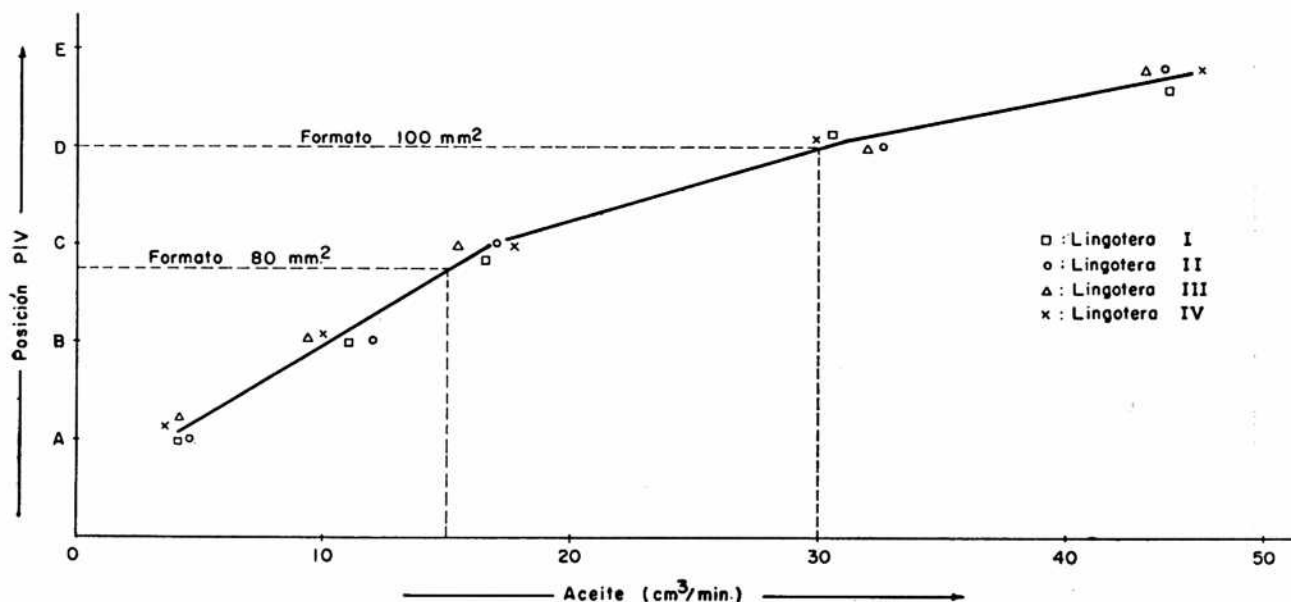


Fig. N° 8 — Lubricación Lingotera.

Los valores de la dureza de la superficie de las lingoteras están cerca a 87 H.R.F. (Rockwell) medidos con billa de 1/16" y presión de 60 Kg./cm². Durante la campaña tales valores bajan hasta 10 puntos.

Lubricación de las lingoteras

Por las siguientes razones se necesita la lubricación de las lingoteras:

- Una parte de aceite se quema al tener contacto con el aire al nivel del acero, lo cual produce una atmósfera reductora de protección.
- Otra parte se evapora entre el metal líquido y la pared de la lingotera, lo cual evita que el acero se pegue a esta última.
- Reduce la fricción entre la piel formada y la pared de la lingotera.

Las condiciones para un buen aceite son las siguientes:

- El aceite debe cubrir en forma de una fina película la superficie interior de la lingotera.
- No debe formar humo ni hollín.
- Debe estar exento de agua por la razón de que si la contiene se forman poros en la superficie de las palanquillas. Estos poros también se forman cuando hay exceso de aceite.

En Chimbote trabajamos con aceite de semilla de algodón y con buenos resultados luego de haber eliminado el aceite de "colza" por tenerse que importar y resultar muy caro. Como sustituto también ensayamos el de pescado, pero con resultado adverso debido al problema de humos negros que hacían difícil para los operadores el controlar el nivel de acero en las lingoteras.

Como se explica en el diagrama de la Figura N° 8, en Chimbote necesitábamos, para el formato 80 x 80 mm., 15 cm³/min. y para el de 100 x 100 mm., 30 cm³/min. de aceite.

Artesa de colada (Tundish) y costo del material refractario

En el período de la puesta en marcha de la máquina de Colada Continua, el consumo en material refractario fue muy alto, lográndose sólo una colada por artesa de cola-

da y resultando un costo por tonelada de acero de S/. 312.00 con el empleo de ladrillos rectos, muy porosos, de 35/38% de Al₂O₃.

No teniendo un mejor material en ese tiempo, nos vimos obligados a efectuar modificaciones en los diseños de las artesas de colada, sin mayor resultado.

Luego utilizamos ladrillos machihembrados de fabricación nacional, los cuales por su diseño evitaban las filtraciones de acero entre las hileras de ladrillos.

Con este tipo de material se logró aumentar la vida de la artesa de colada a cuatro coladas, con lo cual bajamos el costo a cerca de S/125.000 por tonelada de acero.

Después de estos resultados, aún nada halagadores, pasamos a utilizar un refractario castable con Al₂O₃ entre 60 y 65%, haciendo monolítico el revestimiento. Con este nuevo material la campaña de los tundish subió a 15 coladas.

Con la puesta en marcha de los Convertidores L.D. pasamos a efectuar, como se ha dicho antes, dos coladas seguidas en una misma artesa de colada, con lo cual la vida de éstas alcanza hasta 20 coladas y los costos bajaron a S/. 36.00 por tonelada de acero (Ver Figura N° 6).

Lista de materiales y su costo

Ladrillos rectangulares de 35/38% Al ₂ O ₃	S/. 3.80/ Kg.
Ladrillos machihembrados de 35/38% Al ₂ O ₃	" 3.85/ Kg.
Material Castable de 60/65% Al ₂ O ₃	" 7.80/ Kg.
Plástico "Coralite" de 83% Al ₂ O ₃	" 10.50/ Kg.
Porta-tobera de 35/38% Al ₂ O ₃	" 8.60/ c/u
Tobera de silicato de zirconio	" 33.37/ c/u

El plástico refractario "coralite" lo usamos al centro del tundish donde se recibe el chorro de acero de la cuchara.

Para llegar al rendimiento de 20 coladas por artesa de colada hay que tener en cuenta:

- 1) La cantidad de agua para el refractario castable no debe ser mayor de 10% del peso de éste.
- 2) El calentamiento se debe comenzar cuando las artesas de colada se encuentren secas.

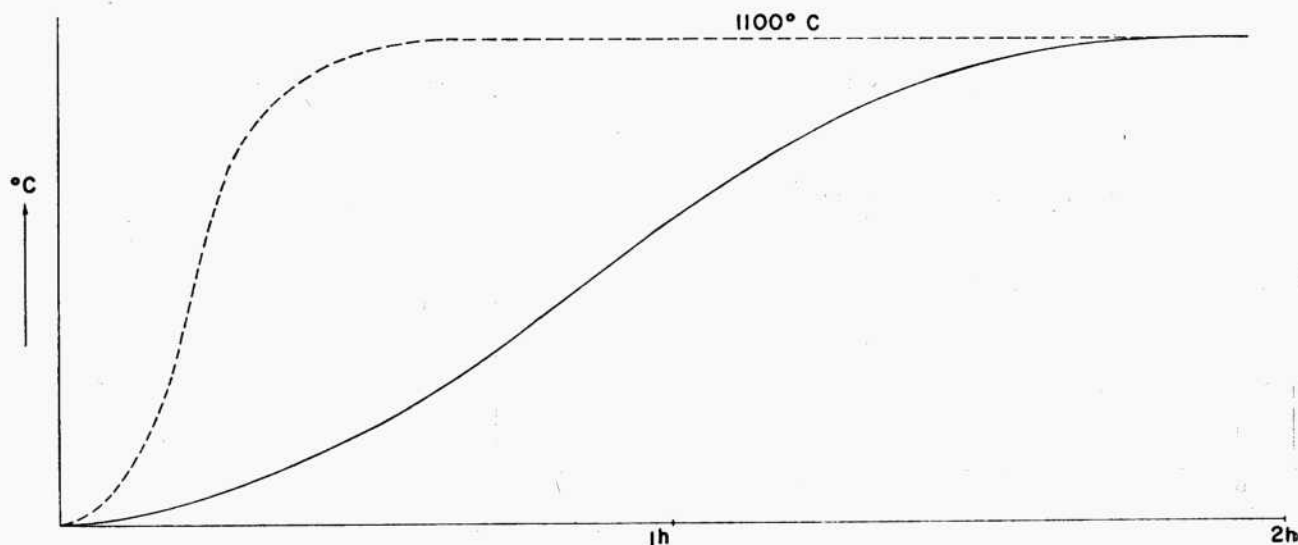


Fig. N° 9 — Diagrama de calentamiento de un Tundish nuevo.

COLADA N° 974

C = 0,34 Mn = 0,64 Si = 0,31

TEMPERATURA ACERO EN LA CUCHARA = 1630 °C

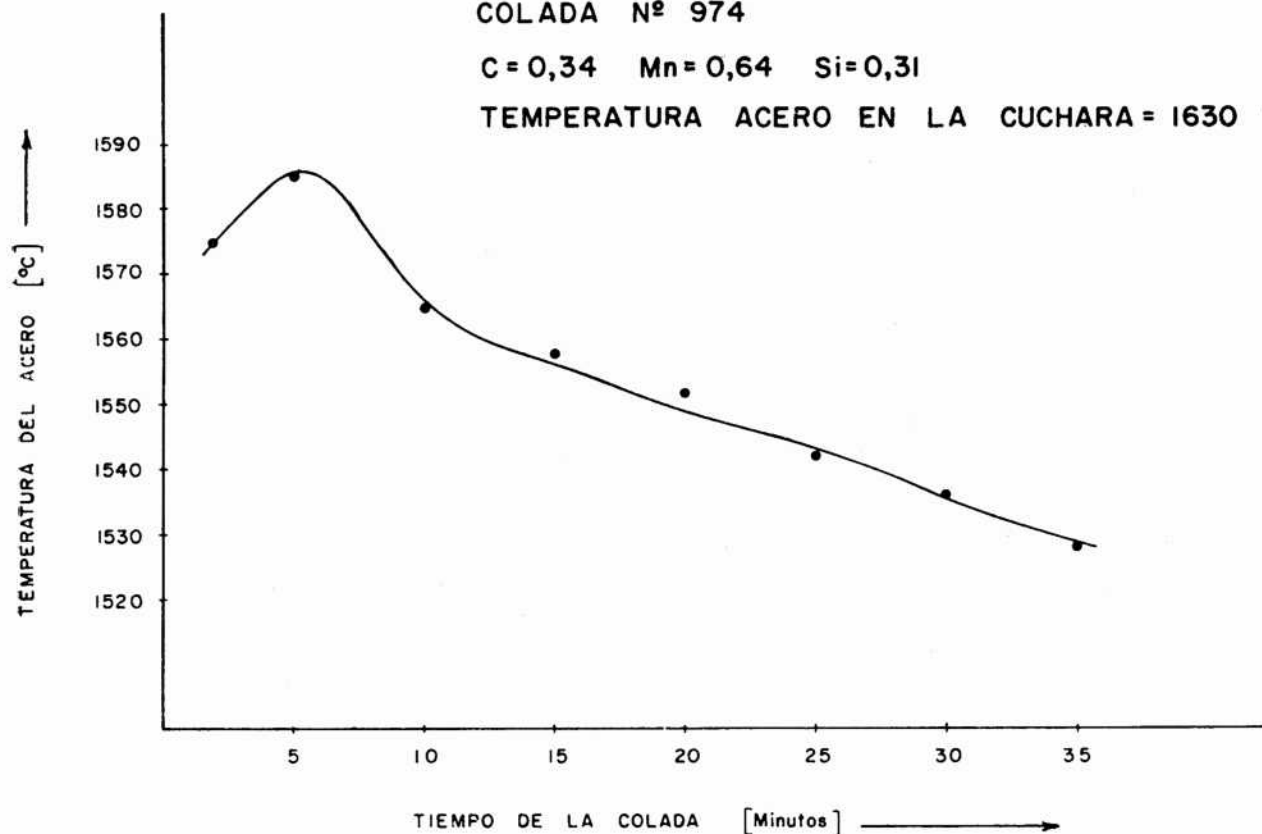


Fig. N° 10 — Pérdida de Temperatura en el Tundish.

Una artesa de colada nueva necesita dos horas de calentamiento según la Figura N° 9 en que la curva a trazo continuo muestra la marcha que se debe seguir. La primera hora muy lento y en los 15 últimos minutos de la segunda hora se debe alcanzar la temperatura deseada de 1.100°C.

Si el calentamiento es brusco, como indica la curva discontinua, el refractario se raja, lo cual impide colar en él para evitar accidentes del personal y del equipo.

3) Luego de terminada la colada se retiran los residuos de acero de la artesa de colada.

La presión de oxígeno para la limpieza debe ser controlada, ya que si se pone demasiada presión se esparcen gotas de FeO, que disminuyen la vida del refractario.

Es muy importante que dicha limpieza en caliente sea muy completa, de lo contrario la vida del revestimiento se

acorta si ha de recurrirse al empleo de equipo mecánico para extracción de residuos de acero al efectuarse reparaciones.

Temperatura del acero

Normalmente trabajamos con un acero al carbono de 49/63 Kg/mm² de resistencia. Para esta calidad la temperatura en la cuchara al llegar a la máquina debe ser de 1610 — 1630°C y esta temperatura baja más o menos 100°C en la artesa de colada conforme se muestra en la Figura N° 10.

Durante el tiempo de colada, que dura aproximadamente 35 minutos para 30 toneladas y cuatro líneas, se alcanza la mayor temperatura a los 5 minutos de haber empezado, en que se produce el equilibrio entre el acero que entra y el que sale de la artesa de colada. (ver Figura N° 10).

ACEROS PARA HERRAMIENTAS:

su fabricación, sus propiedades y su importancia práctica

Werner Krebs

Deutsche Edelstahl-Werke

1.º ALGO DE HISTORIA.

Los aceros para herramientas son los aceros especiales por excelencia. Su desarrollo puede retrotraerse a los comienzos mismos de la industria siderúrgica. Por lo tanto, ya en tiempos muy tempranos, se presentó la necesidad de producir herramientas de aceros con cualidades especiales, para la fabricación y conformación de objetos utilitarios.

Primero fueron las herramientas de uso manual, para las que resultaban satisfactorios los aceros al carbono y de baja aleación cuya capacidad de trabajo bastaba para las exigencias que se les ponían. Frente a un desarrollo industrial creciente, aumentaron también las exigencias específicas, haciéndose a la vez más extensas. Entretanto el número de los aceros para herramientas que hay en uso actualmente sobrepasa los cien.

En un principio los métodos de investigación para encontrar aceros para herramientas de características adecuadas eran a menudo empíricos, pero últimamente se han utilizado técnicas de investigación básica condicionadas al uso o aplicación eventual del producto. Numerosos trabajos de este tipo han sido hechos por el Instituto de Investigaciones del Deutsche Edelstahl-Werke aprovechando también la experiencia obtenida a través de decenios de trabajo.

Los resultados alcanzados después de larga experiencia han permitido llegar a una clasificación bien definida de los aceros para herramientas, que permite una producción económica en interés tanto de productores como de consumidores.

El porcentaje de acero para herramientas en la producción de lingotes de acero especial es de 10%, según estadísticas tanto de la Comunidad Europea del Carbón y del Acero como de los Estados Unidos. En 1967, se produjeron en la República Federal de Alemania más o menos 280.000 toneladas de aceros para herramientas; un porcentaje considerable de este total corresponde a la Deutsche Edelstahl-Werke.

Como se sabe, generalmente los "aceros para herramienta", incluyen:

- aceros rápidos,
- aceros para trabajos en caliente y
- aceros para trabajos en frío.

2.0 FABRICACION.

Dado el tipo de acero para herramientas que ha de fabricarse, sus características y las instalaciones de producción necesarias, puede lograrse un producto final de alta calidad sólo y cuando se asegure una secuencia de trabajo bien adecuada en todas sus etapas.

2.1. Aceros rápidos.

Es requisito esencial al fundir aceros rápidos que el lingote en bruto solidificado sea lo más homogéneo posible. Tiene influencia significativa la composición química, particularmente la relación carbono y elementos formadores de carburo. Por su gran afinidad por el carbono, el vanadio tiene una importancia especial. Se necesitan muchos ensayos hasta dar con dimensiones y formas de lingote y condiciones de solidificación óptimas, y hoy en día es posible decir que para aceros rápidos, el peso del lingote debe limitarse más o menos a 1.000 kg. Dentro de este peso, empero, las medidas del lingote pueden variar dentro de ciertos límites. También es determinante de la calidad mantener escrupulosamente la debida relación entre las dimensiones del lingote y la deformación que se le dá. Si comparamos, por ejemplo, un lingote de 1,5 t con otro de 700 kg. habiendo recibido ambos igual deformación, el primero tiene una distribución de carburos desfavorable y bandas de carburo más anchas. En la figura 1 se comparan los resultados de una deformación de quince veces (lingote laminado a un quinceavo de la sección original), partiendo de un lingote grande, con una deformación de sólo cuatro veces, en un lingote pequeño. En este caso, aún con la deformación en proporción de cuatro a uno, la distribución de los carburos y su segregación es muy regular. En espesores fuertes, como es el caso de las herramientas para fresar,

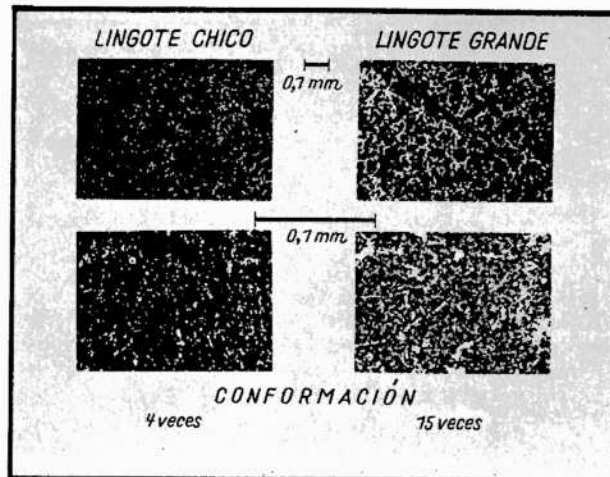


Figura 1 — Distribución de los carburos.

los carburos deben estar uniformemente distribuidos en el filo cortante y el núcleo no debe contener bandas de carburo anchas en exceso. Durante el tratamiento térmico, las áreas con exceso de segregación de carburos tienden a fundirse y eventualmente a formar grietas.

2.2. Conformación en caliente.

Después de enfriarse el lingote en bruto y ser eventualmente recocido, la secuencia de trabajo continúa con la conformación en caliente para llegar a una medida intermedia o a la medida final. Un calentamiento eficaz realizado con lentitud y cuidado hasta cerca de los 900°C evita que se produzcan grietas en los lingotes y permite que se pueda seguir adelante rápidamente hasta la temperatura de deformación. El tiempo de empape debe ser tal que se evite por completo el crecimiento del grano o de los carburos. Estas son condiciones básicas y deben ser satisfechas para que el acero tenga el comportamiento que le es propio en el tratamiento de temple y revenido. La deformación se obtiene por laminación, prensado o forja, operaciones todas que necesitan ser hechas a temperaturas constantes y a un ritmo uniforme de deformación. Una permanencia excesiva a la temperatura de deformación y un grano de deformación insuficiente, provocan generalmente un grano grueso. Después del trabajo en caliente, se debe aplicar un enfriamiento controlado en hornos especiales.

Un nuevo tipo de unidad de deformación se presenta en la figura 2. Se trata de la primera máquina de forja para barras de acero largas del mundo, capacidad 800 t. con mandos alfanuméricos con cuatro dispositivos para secciones redondas, cuadradas y planas de hasta 10 metros de largo. Presenta especiales ventajas para el proceso de deformación.

En efecto, se obtiene un buen grado de deformación con un solo calentamiento (a una calda), es decir, sin calentamientos intermedios. Este moderno procedimiento permite dar un alto grado de deformación uniforme y entrega productos de calidad constante. Otras ventajas importantes son tolerancias dimensionales muy estrechas y una rectilineidad notable. La gama de medidas que se puede obtener es de 400 mm de diámetro a 100 mm de diámetro o secciones equivalentes.

2.3. Recocido blando.

El recocido blando que se lleva a cabo a continuación de la deformación en caliente, se aplica con el objeto de lograr un estado final de calidad óptima. Hay que tomar en cuenta aquí un gran número de aspectos importantes y cuyo efecto ha sido calculado para obtener las

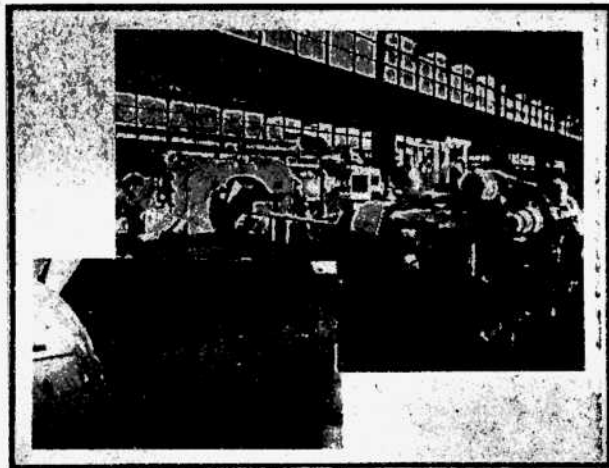


Figura 2 — Máquina forjadora.

propiedades o características que se desean. Por medio del recocido se controlan el límite de ruptura por tensión, el tamaño de grano de la austenita como también el comportamiento al temple y revenido. Para obtener el temple correcto de las herramientas, es condición previa efectuar un recocido adecuado.

2.4. Controles.

Los controles intermedios y finales juegan un papel decisivo en el proceso de fabricación. De manera independiente cualquiera que sea el tipo de acero para herramientas que haya de producirse, hay que aplicar las operaciones de control más diversas desde la preparación de la carga del horno, hasta la terminación final. Una determinación conveniente del proceso de producción y del estado final requerido, y sus cualidades tecnológicas, garantiza un producto de alta calidad. Para la producción en serie es de importancia muy primordial que las condiciones de calidad se mantengan, pues una calidad uniforme es la base de toda producción económica.

2.5. Aceros para herramientas para trabajo en caliente y en frío.

La secuencia de producción —excluyendo algunas particularidades— de estos grupos de acero de los que se hablará en detalle más adelante, es comparable a la de los aceros rápidos. A estas excepciones corresponden por ejemplo los tamaños más grandes de lingote para los aceros ledeburíticos, (especialmente los aceros para trabajo en caliente) donde se llega a productos finales de grandes espesores.

3.0. CARACTERISTICAS DEL ACERO Y SU SIGNIFICADO PRACTICO.

A un determinado tipo de acero se le pide por lo general que satisfaga gran número de requisitos en cuanto a sus propiedades. Sólo en muy raras ocasiones se pueden satisfacer simultáneamente condiciones tales como aptitud para formar o no formar viruta, comportamiento en el tratamiento térmico, maquinabilidad y rendimiento efectivo de la herramienta.

3.1. Características de los aceros rápidos.

Las propiedades características de los aceros rápidos son gran dureza y resistencia al desgaste en caliente. Estas se garantizan por la presencia de Cr, W, V y Mo, elementos que entran en combinación con el carbono, formando carburos duros o complejos. La composición química de los acreditados aceros rápidos, deriva esencialmente del acero con 18% de W presentado por primera vez allá por 1900 por Taylor & White. Su desarrollo en casi siete decenios se realizó fundamentalmente a través de tres tipos de aleaciones:

- 1) 18% W + Cobalto
- 2) 12% W + V más alto + Cobalto
- 3) 6,5 — 2% W y 5 — 8,5% Mo + Cobalto

La concepción más reciente es que un aumento del carbono asegura una dureza más elevada incluso en caliente (resistencia al revenido) sin cambio alguno en la proporción de los elementos formadores de carburos. Esto produce un aumento de la resistencia al desgaste, de gran importancia al trabajar materiales austeníticos. Los tipos básicos son menos sensibles durante la fabricación y la transformación subsiguiente, como por ejemplo el tratamiento térmico, y se destacan por su gran tenacidad.

Hay algunos diseños o tipos de herramientas para los cuales es ventajoso utilizar los aceros rápidos con mayor contenido de carbono desarrollados últimamente, aunque su empleo está menos difundido. Los aceros rápidos son

notables en el trabajo con máquinas herramientas, y cuando además se necesita tenacidad, son superiores definitivamente a los materiales sinterizados para corte.

Antes de tratar algunos aceros rápidos que se han acreditado en la práctica, nos parece adecuado presentar las características típicas comparadas de los aceros para herramientas no aleados y de baja aleación, en la fig 3.

3.1.1. Composición química.

La serie que aparece en la figura 4 muestra la frecuencia de empleo tomando como modelo a la República Federal Alemana. En cantidad, sobresale el tipo S 6-5-2. No se puede clasificar el comportamiento en función del porcentaje de aleación. La elección del tipo de acero rápido está determinada por la construcción, la geometría de los filos, las condiciones de producción y de trabajo.

Si se necesita, por ejemplo, una dureza en caliente muy elevada, como por ejemplo en trabajos de desbaste, entonces cabría elegir el acero con 18% de W más 5 ó 10% de cobalto eventualmente (S 18-1-2-5 o S 18-1-2-10), pero un filo estable constituye siempre una condición previa. Por el contrario, para herramientas delicadas de dientes finos, como herramientas de rosca, taladros de espiral y fresadoras, es más recomendable el S 6-5-2 por ser

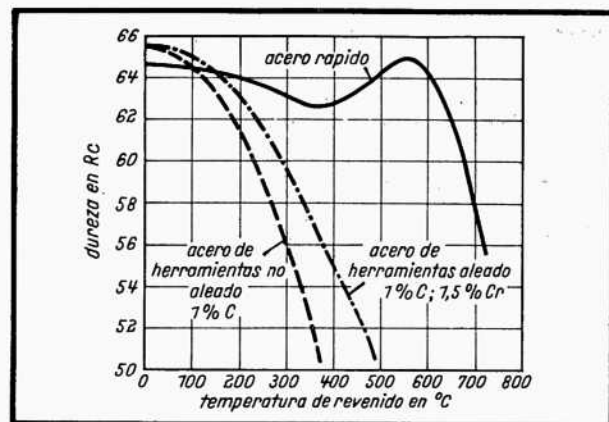


Figura 3 — Comparación de la resistencia al revenido de aceros rápidos y de aceros de herramientas (esquemático).

según DIN	según AISI	composición química en %						
		C	Cr	Mo	V	W	Co	
S 6-5-2	M 2	0,85	4,2	5,0	2,0	6,3	-	
S 6-5-2-5	M 35	0,85	4,2	5,0	2,0	6,3	4,8	
S 70-4-3-10	T 42	1,25	4,2	3,8	3,3	10,5	10,5	
S 78-7-2-5	~T 4	0,80	4,2	0,9	1,6	18,0	4,8	
S 3-3-2	~M 52	0,95	4,0	2,7	2,4	3,0	-	
S 2-9-7	M 7	0,80	3,8	8,5	1,2	1,8	-	
S 2-9-2	~M 7	1,00	3,8	8,5	2,7	1,8	-	
S 2-9-2-8	M 34	0,90	3,8	8,5	2,7	1,8	8,3	
S 78-0-7	T 1	0,75	4,0	(0,5)	1,7	18,5	-	
S 72-7-4	-	1,25	4,2	0,9	3,8	12,0	-	
S 72-7-4-5	~T 15	1,45	4,2	0,9	3,8	12,0	4,8	

Figura 4 — Composición química de aceros rápidos que se usan normalmente.

más tenaz. Las herramientas de corte para tornos automáticos están sujetas a mayores exigencias de resistencia al desgaste. Para éstas se ha comprobado que el acero más adecuado es el S 10-4-3-10.

La mayor tenacidad de los aceros rápidos al W-Mo o al Mo-W se debe en esencia a su fina estructura. Aún la estructura de solidificación más gruesa de los aceros con 18% o 12% de W difiere considerablemente de la que se obtiene en los aceros al Mo. Este es un hecho bien conocido: incluso los conocimientos y prácticas metalúrgicas más modernas sólo pueden mejorar este aspecto, pero no pueden ajustarlo completamente. La predominación de los aceros rápidos al Mo y de sus variantes se fundamenta en:

- su fina microestructura
- su mejor maquinabilidad mecánica y
- su tenacidad más alta después del tratamiento térmico completo.

3.1.2. Tratamiento térmico.

El tratamiento térmico, esto es, el temple y el revenido, es un proceso extraordinariamente importante. La temperatura de temple y el tiempo que el acero permanece a dicha temperatura son factores interdependientes; vale decir que una temperatura de temple baja necesita un corto tiempo de permanencia a ese nivel y vice versa. El tiempo en temperatura y la temperatura de temple dependen de la forma de la herramienta y debe ser tal que evite el crecimiento del grano austenítico o que el crecimiento sea insignificante. También debe ser el adecuado para que los elementos de aleación se disuelvan como también los carburos secundarios. Cuando se respetan estas condiciones, se logra obtener las propiedades características específicas de cada tipo de acero.

Se obtendrán mejores valores de tenacidad empleando temperaturas de temple más bajas y tiempos en temperatura más prolongados.

También el método de fabricación debe ser tomado en cuenta, ya que una estructura de martensita gruesa es más sensible a la abrasión que una estructura acicular fina de temple.

3.2. Aceros de herramientas para trabajo en caliente.

El trabajo en caliente (sin eliminar material en forma de virutas) por medio del cual se obtienen, con los métodos más diversos, las formas y perfiles más variados con acero y metales no-ferrosos, ejerce sobre la superficie de la herramienta cargas mayores o menores según sea la temperatura, el cambio de temperatura, choque, la presión y abrasión sobre la superficie. Estos tipos de exigencias —aisladamente o en conjunto— determinan los requisitos que deben pedirse a los aceros de herramientas para trabajo en caliente.

Una elevada resistencia al revenido asegura que la resistencia a la compresión se mantenga intacta a lo largo de elevadas temperaturas. La resistencia a los cambios de temperatura debe interpretarse como la consecuencia de una mejor tenacidad y resistencia a la abrasión o temperatura elevada, y asegura que las dimensiones de la pieza o sección no varíen.

Los aceros para trabajo en caliente deben cumplir requisitos comparables a los que se exigen en los aceros rápidos. Por lo tanto se comprende que las características típicas se alcancen satisfactoriamente con los mismos metales de aleación y/o combinaciones parecidas.

El desarrollo de los aceros de herramientas para trabajos en caliente siguió un curso caracterizado básicamente por cuatro direcciones:

- 1) Aceros Cr-Ni-Mo
- 2) Aceros W-Cr-V
- 3) Aceros Mo-Cr+W+V
- 4) Aceros Ni-Cr+W+Co-Mo

Los grupos 1), 2) y 3) corresponden sin excepción a aceros templables, en tanto que los aceros designados bajo el grupo 4) son aceros austeníticos que se endurecen por el calor.

Es de conocimiento general que W puede reemplazar al Mo en igual relación que en los aceros rápidos, esto es, en relación 2:1.

Los aceros que se endurecen por trabajo en caliente resisten al revenido hasta alrededor de 600°C, pero para obtener con seguridad una larga duración de la herramienta o matriz ésta debe mantenerse a unos 100°C por debajo. Cuando la herramienta o matriz está expuesta a temperaturas sobre 600°C entonces se deben usar aceros del grupo 4 indicado más arriba.

Materiales austeníticos, cuya particularidad reside en que pierden muy poco de su resistencia, incluso a temperaturas elevadas, se están empleando cada vez en mayor cantidad y con muy buen éxito. Pueden endurecerse con el tiempo, lo cual puede ocurrir también por efecto de los esfuerzos de trabajo; en todo caso esto favorece la constancia de las dimensiones originales de la pieza o matriz. Por regla general se emplean para matrices de pequeñas dimensiones.

3.2.1. Composición química (Fig. 5)

Hay toda una selección de aceros para trabajo en caliente que han resistido con éxito todo tipo de pruebas. Los clásicos aceros al Cr-Ni-Mo para bloques de matrices son muy conocidos en las industrias de forja en estampa y no presentan limitaciones en cuanto a las dimensiones de la estampa. Poseen muy buenas características de temple que aseguran buenos valores de tenacidad aún en matrices de grandes dimensiones; así pues es posible que la pieza tenga partes profundas y complicadas. Es notable el comportamiento de estampas hechas con estos aceros, en la forja de aceros, aleaciones de baja ductilidad y aún de metales no ferrosos, cuyo peso puede variar entre algunos cientos de gramos y centenas de kilos. El efecto de la tasa de deformación puede describirse como sigue: En esfuerzos cortos de compresión y cambios de temperatura aplicada a grandes velocidades, como por ejemplo en martinets de caída, de contra golpe o de martinets de gran velocidad, los aceros al Cr-Mo poseen una adecuada resistencia al revenido. Sin embargo se requieren aceros con aún mayor resistencia al revenido en las matrices para prensas mecánicas, hidráulicas o neumáticas, debido a que por su menor velocidad los esfuerzos de compresión se aplican por períodos más largos.

según DIN 17706	según AISI	composición química en %								
		C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	W	
A) aceros refinables										
55 Ni Cr Mo V 6	~ 4350	0,55	0,3	0,6	0,7	0,3	7,7	0,1	-	
56 Ni Cr Mo V 7	~ 4350	0,55	0,3	0,7	7,0	0,5	7,7	0,1	-	
X 30 W Cr V 53	-	0,30	0,2	0,3	2,4	-	-	0,6	4,3	
X 30 W Cr V 93	~ H 21	0,30	0,2	0,3	2,6	-	-	0,4	8,5	
48 Cr Mo V 67	-	0,48	0,3	0,7	7,5	0,7	-	0,3	-	
X 38 Cr Mo 51	H 71	0,38	7,0	0,4	5,3	7,7	-	0,4	-	
X 40 Cr Mo 51	H 73	0,40	7,0	0,4	5,3	7,4	-	7,0	-	
X 32 Cr Mo 33	H 70	0,32	0,3	0,3	3,0	2,8	-	4,5	-	
B) aceros austeníticos										
X 37 Cr Ni W 16	-	0,37	7,8	0,9	74,0	0,3	5,7	0,8	2,8	
-	-	0,07	0,2	0,2	18,5	-	~ 60	16,5 Co	2,4 Ti	

Figura 5 — Composición química de aceros conocidos para trabajar en caliente que se usan normalmente.

Los aceros al W-Cr-V y Mo-Cr (2 y 3) poseen estas características. Los grados del grupo 3 poseen mayor ductilidad, mientras que los aceros al W-Cr-V tienen mayor resistencia a elevadas temperaturas, como se muestra en la figura 6.

Los aceros al Mo-Cr se emplean en atención a sus características específicas, cuando las exigencias teóricas no son muy altas o cuando debido a las dimensiones de las piezas, es indispensable una buena templabilidad. Los aceros del grupo 3 se emplean en camisas interiores en prensas de extrusión, moldes para piezas de aluminio fundidas a presión, moldes para prensas de estampado y para forja-estampa. Por su gran resistencia al revenido los aceros al W-Cr del grupo 2 se emplean para matrices para la extrusión del latón. Los aceros austeníticos son muy indicados para matrices de prensas de extrusión para aleaciones difíciles de trabajar, como algunas aleaciones de cobre y cobre-níquel y aceros de aleación para servicio a alta temperatura. Mediante el empleo de técnicas de deformación especiales para la forja de los discos se logra que el temple que se produce con el tiempo por acción de la carga aumente la resistencia de las piezas.

La aleación "ATS 340" resulta interesante en aquellos casos en que debido a una secuencia de trabajo ininterrumpida debe evitarse un costoso recambio o transformación de las herramientas. Martillos en máquinas de forja y de prensado, así como herramientas para transformar aleaciones difícilmente deformables, se han fabricado con el "ATS 340" (Nimonic 90, Ni-P 36 HT) y se están usando con éxito.

3.2.2. Tratamiento térmico.

El templado y el revenido de los aceros para trabajo en caliente resulta muy importante para alcanzar un rendimiento adecuado de la herramienta. Fundamentalmente la temperatura de temple y el tiempo en temperatura deben ajustarse a un ciclo determinado, después de un calentamiento cuidadoso, eventualmente escalonado, de manera de evitar todo crecimiento de grano que disminuya la tenacidad. Es muy importante en este proceso el evitar la carburación o la descarburación, lo que resulta posible si se llevan a cabo medidas adecuadas. El tratamiento de revenido que se aplica inmediatamente después del temple, implica dos tareas. Por una parte la estructura martensítica de temple debe hacerse pasar a una estructura de revenido sin tensiones, y por otra, el acero de la herramienta debe obtener la tensión de ruptura necesaria.

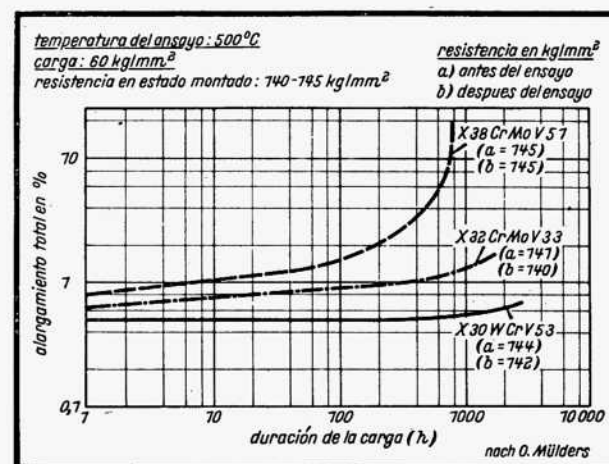


Figura 6 — Alargamiento en función del tiempo de los aceros, X 38 CrMo V 51, X 32 CrMo V 33 y X 30 WCr V 53.

Entrar en todos los detalles decisivos de los problemas del tratamiento térmico, sobrepasaría los límites que se ha fijado este trabajo. En todo caso debemos mencionar que el tratamiento térmico es un aspecto que influye considerablemente en la duración de la herramienta y, por tanto, debe aplicarse con mucho cuidado.

3.3 Propiedades de los aceros para trabajo en frío.

La denominación de "aceros para herramientas para trabajo en frío" comprende aquellos aceros que después de su transformación en herramientas trabajan a la temperatura ambiente, o bien a temperaturas moderadas. Muchos procesos de trabajo que comprenden la conformación con o sin arranque de virutas de acero, metales no ferrosos, madera, plásticos, etc., exponen a las herramientas a exigencias muy variadas. Como tipos de exigencias se sitúan en primer plano la capacidad de corte y la duración del filo de corte, tenacidad, como asimismo resistencia a la compresión, al choque y al desgaste. Para satisfacer todas estas condiciones se han desarrollado aceros de composición muy variada.

A mayor contenido de C corresponde un aumento de capacidad de corte y de resistencia al desgaste, pero por el contrario, el mayor contenido de C hace bajar notablemente la tenacidad. Una proporción conveniente de elementos de aleación y de carbono conduce a formar carburos duros y resistentes al desgaste y, simultáneamente, a aumentar la resistencia al desgaste de la estructura básica. La mayoría de las veces las combinaciones de aleaciones conducen también a un grano más fino y con ello influyen favorablemente en la tenacidad.

En la figura 7 se anota una selección cuidadosa de los aceros para trabajo en frío de mayor uso en la práctica. En general se puede decir, antes que nada, que los aceros de alto carbono se usan para herramientas sometidas primordialmente a esfuerzos de desgaste. Herramientas típicas de esta clase son los dados para cortar y trefilar y matrices para estampar.

Los aceros con bajo contenido de carbono se emplean donde la tenacidad tiene importancia primordial, como ser matrices para estampar y trefilar y también donde los esfuerzos de choque son elevados: cilindros de laminación y herramientas para cortar chapas de cierto espesor y otras por el estilo.

3.3.1. Composición química.

Los aceros al carbono propiamente tales, o sea los no aleados, se designan como templados en coquilla o templados al agua. Se emplean en la fabricación de herramientas con contenidos de C de más o menos 0,6-1,3% junto a pequeñas proporciones de Mn y Si. Se emplean en herramientas como cinceles, punzones, tenazas y limas. También se fabrican eventualmente con estos aceros herramientas de corte y troqueles simples y donde no hay restricciones en cuanto al temple.

La calidad 100 V 1 mostrada en la fig. 7, tiene un suplemento de V de 0,1% para aumentar su resistencia al temple. El acero 120 WV 4, recibió un suplemento de 1% W para aumentar su resistencia al desgaste y el X 130 W 5 posee una gran dureza, o sea una gran resistencia al desgaste. Debido a dificultades en el temple, estos aceros templables al agua se pueden utilizar solamente en piezas de formas regulares.

Al aumentar la proporción de elementos de aleación cambia la templabilidad y hay que emplear entonces un medio de temple más suave. El tipo 90 MnV 8 es un acero al Mn al 2%, cuya ventaja reside especialmente en su baja temperatura de temple. Como medio de temple basta el aceite y debido precisamente a su baja temperatura de temple este acero tiene buena resistencia a la deformación y presenta una tenacidad que resulta aceptable.

Su campo principal de aplicación está en las herramientas de corte para la transformación de chapas de un grosor de hasta 6 mm.

El acero 105 WCr 6 es muy usado para herramientas de corte, ya que en él la proporción favorable de los elementos de aleación garantiza una buena templabilidad y resistencia a la deformación y una alta resistencia al desgaste.

Los aceros con 12% de cromo son los que poseen el mayor porcentaje de carburos entre los aceros para trabajo en frío, y con ello, los que poseen la mayor resistencia al desgaste. Los más conocidos son el X 165 CrMoV 12 y el X 210 CrW 12. Estos aceros de alto contenido de Cr se templean al aire y se emplean en gran porcentaje en la industria eléctrica para cortar chapas para dinamos y transformadores y en todas aquellas aplicaciones en que se pide un gran rendimiento de corte y tolerancias de medida restringidas.

Entre los aceros "resistentes al choque" cabe mencionar el 60 WCr V 7 y el 45 WCrV 7 que se emplean en herramientas de percusión y elementos de corte para espesores sobre 10 mm.

Para herramientas de estampar en la industria de cuchillería y bisutería, se usan los aceros X 45 NiCrMo 4 y 53 NiCr 10. Estos aceros al Ni poseen, entre los nombrados, las más altas tenacidades después del tratamiento térmico.

Esta visión de conjunto sería incompleta si no se mencionan los aceros de cementación empleados hoy en día extensamente en la industria de plásticos. Cuando la pieza debe ser maquinada se usa el 21 MnCr5, en tanto que el X 6 Cr Mo 4 es un acero de cementación adecuado para una gran variedad de formas obtenidas por estampación en frío.

3.3.2. Tratamiento térmico.

El templado y el revenido de las herramientas cuidadosamente fabricadas exige un cuidado aún mayor durante el tratamiento térmico, para alcanzar el mejor resultado.

según DIN 77006	según AISI	composición química en %								
		C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	W	
A) aceros templables al agua										
C 100 W 1	W 1	1,00	0,2	0,2	-	-	-	-	-	
100 V 1	W 2	1,00	0,2	0,2	-	-	-	0,1	-	
120 W V 4	-	1,20	0,2	0,3	0,2	-	-	0,1	1,0	
X 130 W 5	~F 2	1,30	0,2	0,3	0,1	-	-	-	5,0	
B) aceros para herramientas de corte y troqueles										
90 Mn V 8	~02	0,90	0,2	2,0 (0,2)	-	-	-	0,1	-	
105 W Cr 6	~01	1,05	0,2	1,0	1,0	-	-	-	1,2	
X 165 Cr Mo V 12	~02	1,65	0,3	0,3	12,0	0,6	-	0,1	0,5	
X 210 Cr W 12	~06	2,10	0,3	0,3	12,0	-	-	-	0,7	
C) aceros resistente a chapues										
60 W Cr V 7	~S 1	0,60	0,6	0,3	1,1	-	-	0,2	2,0	
45 W Cr V 7	S 1	0,45	1,0	0,3	1,1	-	-	0,2	2,0	
D) aceros para herramientas para estampar										
X 45 Ni Cr Mo 4	~class 245	0,45	0,2	0,4	1,3	-	4,0	-	0,5	
55 Ni Cr 10	" 241	0,53	0,2	0,4	0,6	-	2,7	-	-	
E) aceros de cementación										
21 Mn Cr 5	~S 120 H	0,21	0,3	1,2	1,0	-	-	-	-	
X 6 Cr Mo 4	~P 4	0,06	0,2	0,2	3,8	0,5	-	-	-	

Figura 7 — Composición química de aceros conocidos para trabajar en frío que se usan normalmente.

La elección del material debe hacerse tomando en cuenta, desde luego, las condiciones de operación, pero también la forma de la herramienta y las propiedades que se desean en ella. Esto es particularmente importante pues a menudo no se considera la templabilidad. Bajo templabilidad se entiende, fundamentalmente, el aumento de dureza en la superficie y en la sección transversal que constituye la meta del proceso de temple a partir de la temperatura de temple. Se trata de una variable que depende esencialmente de la composición química del acero, del tratamiento de temple y de la forma o sección transversal de la herramienta.

En la fig. 8 se reproduce la templabilidad de algunos aceros para trabajo en frío en función del diámetro de la herramienta. Se puede observar muy claramente que los dos aceros templables al agua, el C. 100 W 1 y el 120 W 4, se templean totalmente sólo en secciones muy

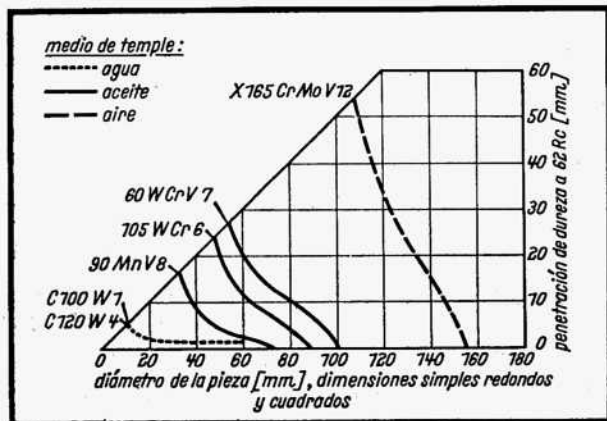


Figura 8 — Templabilidad de aceros para trabajar en frío en dependencia de la dimensión de la pieza.

delgadas y que en medidas gruesas alcanzan sólo un temple muy débil (lo que en algunos casos constituye una ventaja).

La templabilidad aumenta a medida que se eleva el porcentaje de elementos de aleación, de manera que en el acero con 12% de cromo alcanza su valor máximo.

La templabilidad no solamente influye sobre el grado de dureza de la superficie y de la sección, sino que influye en el comportamiento de toda la masa; por lo tanto, mientras más favorable sea la templabilidad, menor es el peligro de la existencia de zonas blandas debidas a un efecto desigual del temple.

Los datos sobre el tratamiento térmico específico de cada acero, aparecen en detalle en los catálogos entregados a los interesados por los proveedores de acero.

3.3.3. Conclusión.

Los procesos de transformación que se vayan instalando, sea en cuanto a técnica de procedimiento o a los materiales, exigirán también en el futuro la fabricación de nuevos aceros. Es comprensible que para ello ayudarán mucho la experiencia de decenios y las nuevas instalaciones de prueba y de investigación. Resulta además extraordinariamente positiva, y por lo tanto sinceramente recomendable, una estrecha colaboración entre consumidor y fabricante.

BIBLIOGRAFIA

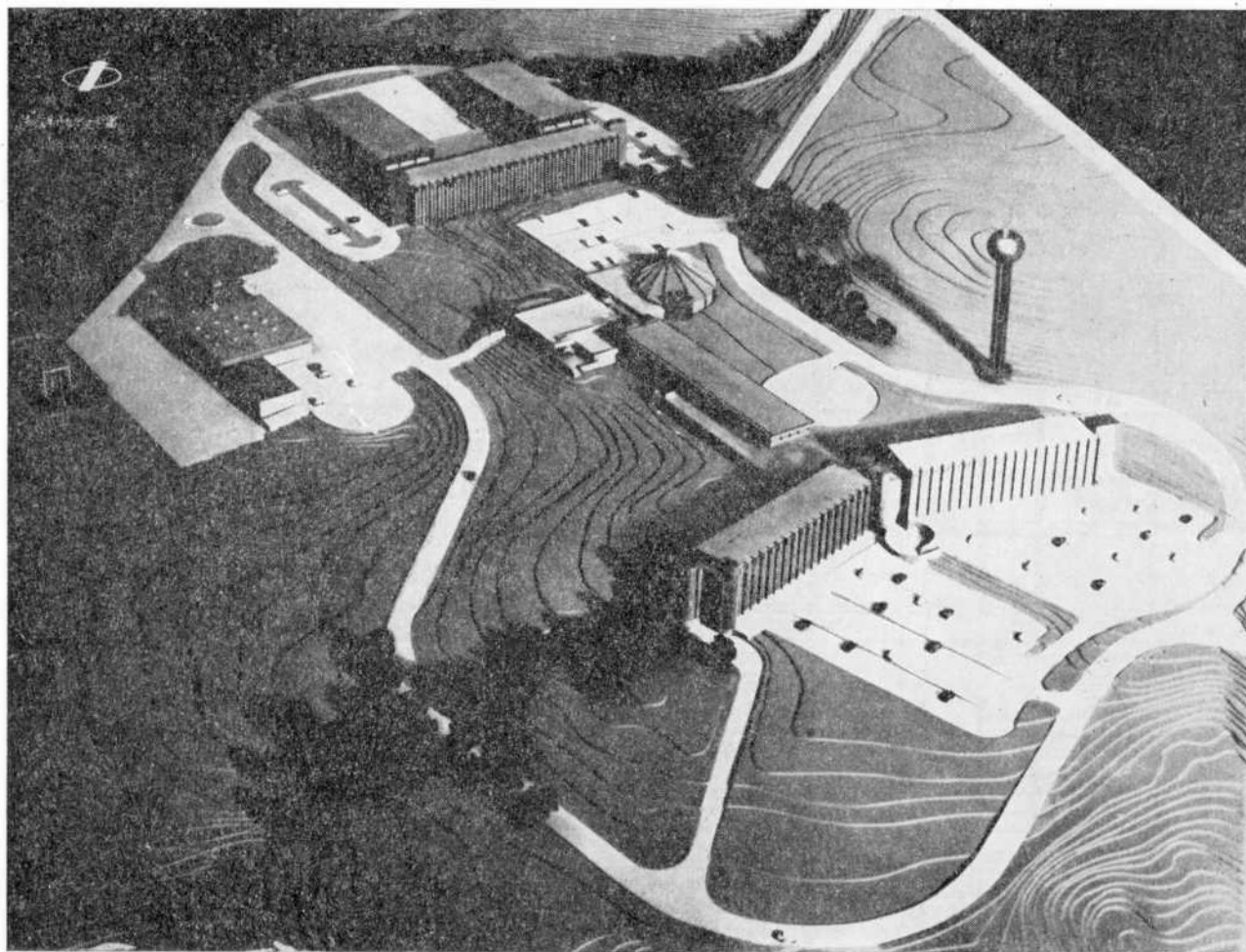
- (1) E. Houdremont: Handbuch der Sonderstahlkunde, Springer-Verlag, Berlin-Göttingen-Heidelberg, 3. Aufl. (1956).
- (2) G. Hoch: Die Wärmebehandlung der Schnellarbeitsstähle, technica Nr. 2 vom 21.1.1955, Birkhäuser-Verlag, Basel.
- (3) DEW-Technische-Berichte, 4. Band 1964, Heft 2.
- (4) W. Krebs: Einflussfaktoren auf der Verschleiss von Werkzeugund Schnellarbeitsstählen, Österreichische Ingenieur-Zeitschrift, Heft 11, Jg. 10 (1967).

Empleo de aceros especiales en un centro de investigaciones metalúrgicas

*Dr. Ing. Franco Cepolina y Sr. Franco Federici
de Società Italiana Impianti*

Ha sido recién acabado, en el área de Roma, en una zona de preponderante desarrollo industrial extensivo, un conjunto edilicio conteniendo las oficinas, los laboratorios de investigación y las instalaciones de experimentación del "Centro Sperimentale Metallurgico".

Este Organismo, en parte derivado del preexistente "Istituto Siderurgico Finsider", ha sido constituido con las participaciones accionarias de las principales Sociedades Siderúrgicas italianas, y tiene como objeto el intervenir conspicuamente en la investigación metalúrgica por cuenta de las



Fotografía Nº 1

Sociedades participantes y de los privados, y más generalmente, en el estudio y experimentación de nuevos materiales y de nuevas tecnologías de elaboración.

La oportunidad de realizar la obra en un plazo relativamente breve, conjuntamente a una serie de exigencias funcionales de distinto orden, han propuesto el acero como material básico para la realización del Centro, confirmando las tendencias técnico-económicas sugeridas por las distintas Sociedades que participan en la financiación de la obra misma.

El Centro Sperimentale, en su conjunto, está constituido por un núcleo directivo y de elaboración electrónica de datos, por un núcleo de laboratorios de investigación, y por un núcleo para la implantación de instalaciones experimentales.

De éstos, el primero y el último tienen estructuras de acero de tipo tradicional y quedan, por lo tanto, excluidos del objeto del presente artículo. La fotografía Nº 1 ilustra la maqueta del conjunto.

Las exigencias de orden funcional más arriba aludidas sobresalen particularmente en el caso de los edificios destinados a laboratorios de investigación —objeto de la presente memoria— en los cuales tienen que coexistir posibilidades de espacios flexibles en los distintos pisos y, al mismo tiempo, equipos e instalaciones aptas para dotar los espacios antes mencionados de los equipos que precisan.

Nos referimos, en particular, a las instalaciones de acondicionamiento y extracción, a las alimentaciones de los distintos flúidos llevados a los bancos de los laboratorios, y a las redes de fuerza motriz.

El problema ha sido solucionado concentrando las gruesas instalaciones auxiliares en un único piso, el ático, donde, en el cielo raso, corren todas las redes de flúidos, y alimentando los distintos pisos de abajo mediante cavedios de servicio dispuestos modularmente a intervalos.

En cada módulo, un cavedio es axial respecto al edificio y cubre las necesidades de flúidos y fuerza motriz, además de proveer a la evacuación de las atmósferas contaminadas, mientras otros dos, sobre el perímetro, están encargados de la alimentación primaria de la instalación de acondicionamiento.

La presencia de esta última parte referente a las instalaciones en el perímetro de los edificios, y los consecuentes espacios ocupados, han brindado a los proyectistas la oportunidad de proporcionar una significación arquitectónica coherente a dichos espacios, buscando la misma también en la recuperación de los espacios exteriores no utilizados para los fines funcionales.

Hemos elegido el acero utilizando perfiles en caliente HE para la parte estructural, mientras los paneles de cobertura han sido realizados de chapa labrada y reforzada.

En fase de proyecto se ha querido utilizar un material que pudiera expresarse y ofertarse por lo que era, sin protección o pintura, ni tratamientos que pudieran de ninguna manera desnaturalizar su aspecto.

La adopción de perfiles de acero especiales al fósforo "CORTEN", y el acero inoxidable, han permitido satisfacer positivamente a dicha necesidad.

A los arriba mencionados materiales se asocia, con particular vigor expresivo, el hormigón armado, utilizado para los núcleos de servicio fijos y para las escaleras, dejado al natural.

Resulta, así, un conjunto arquitectónico en que los distintos elementos están positivamente asociados, y tales quedarán en el tiempo por efecto de las características intrínsecas de inalterabilidad propias de los materiales elegidos.

El empleo de los materiales arriba mencionados y su particular asociación en los edificios descritos para laboratorios, ha requerido una detenida investigación sobre los materiales y sobre las tecnologías de ejecución. A continuación se detalla lo ya expresado.

Las estructuras portantes.

Las estructuras portantes del edificio son enteramente metálicas y consisten en una serie de grandes armazones rígidos —sumariamente representados en la Tabla I—, de las relativas vigas longitudinales de unión de dichos armazones en correspondencia de los pisos, y de una recia estructura de arrostramiento que une solidariamente los tres armazones centrales.

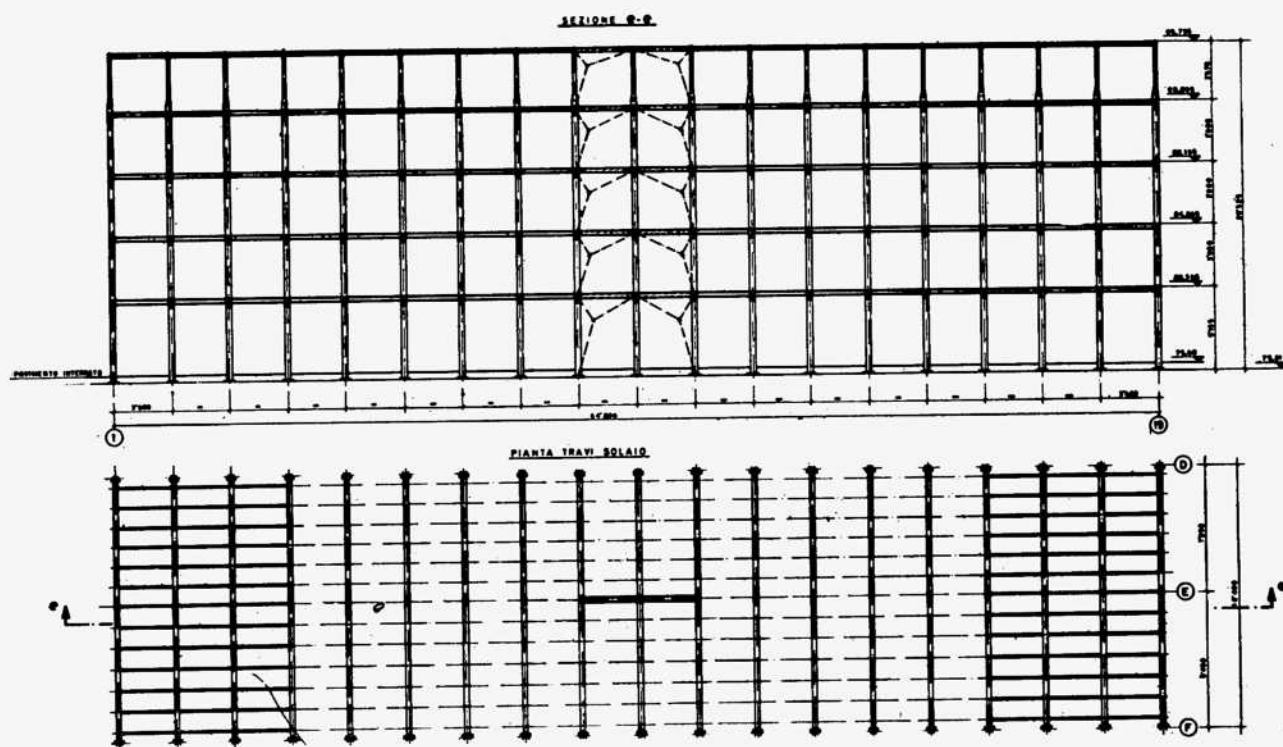


FIGURA I — PLANTA Y SECCION LONGITUDINAL DE LAS ESTRUCTURAS

Sezione = sección; pavimento interrato = pavimento enterrado; pianta travi solaio = planta vigas techo;

De las tres columnas antes mencionadas, la central está constituida por perfiles de doble T de acero Fe 42 C, mientras los exteriores, que cumplen en el mismo tiempo con funciones decorativas y portantes, están constituidos por acero CORTEN "A" en la parte a la vista y de acero Fe 42 C en la parte restante, las dos partes estando unidas entre ellas mediante soldadura.

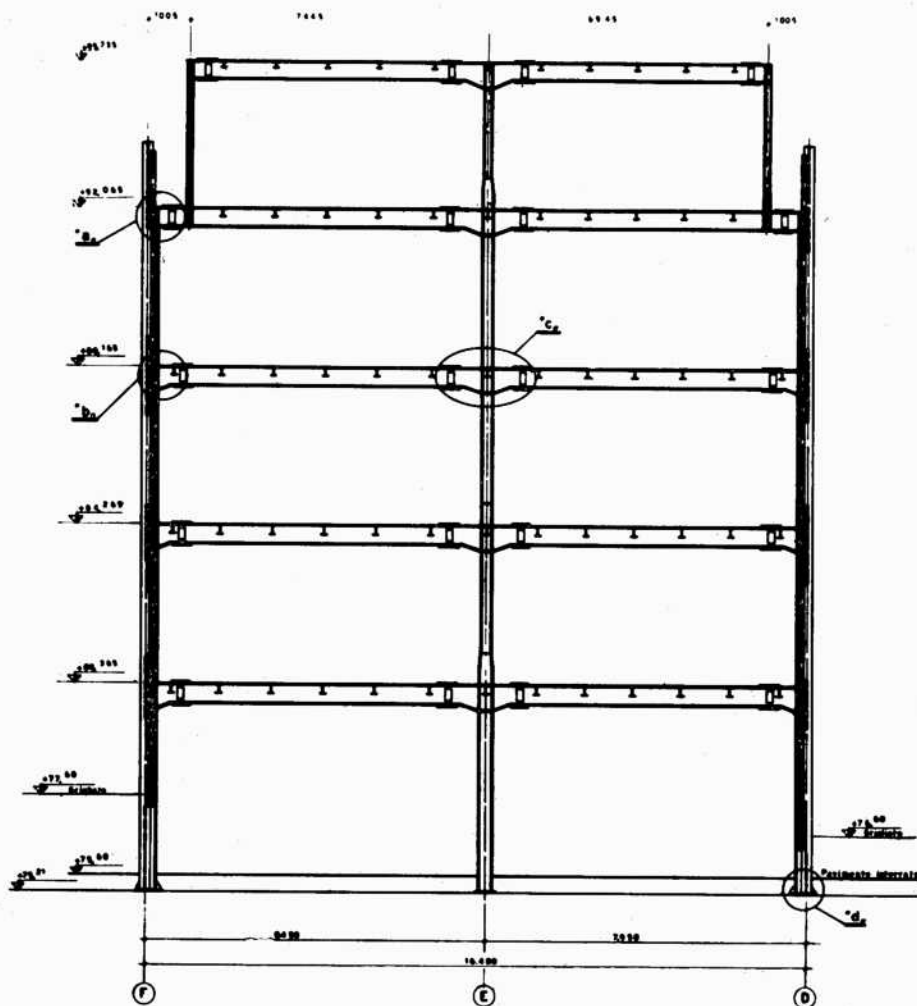
El acero CORTEN.

COMPOSICION QUIMICA % (análisis de colada)

C	Mn	P	S	Si	Cu	Cr	Ni
≤ 0,12	0,20 ÷ 0,50	0,07 ÷ 0,15	≤ 0,035	0,25 ÷ 0,75	0,25 ÷ 0,55	0,30 ÷ 1,25	≤ 0,65

COR-TEN B

C	Mn	P	S	Si	Cu	Cr	V
0,10 ÷ 0,19	0,90 ÷ 1,25	≤ 0,025	≤ 0,035	0,15 ÷ 0,30	0,25 ÷ 0,40	0,40 ÷ 0,65	0,02 ÷ 0,10



Note = Nota; per particolari a-b-c-d vedere tavola III = para los detalles de a-b-c-d véase figura III; Grigliato = enrejado;
Pavimento interrato = pavimento enterrado.

Gracias a su composición, los agentes atmosféricos lo recubren con una delgada capa de óxido compacto y tenaz de color uniforme que se presenta, inicialmente, como un acero normalmente oxidado, poniéndose, una vez estabilizado, de color bruno-violado con tonalidades distintas.

El efecto cromático es más agradable y sobresaliente en el CORTEN tipo "A" que, por lo tanto, se prefiere para las utilizaciones arquitectónicas; para las utilizaciones no

arquitectónicas se prefiere, en cambio, el tipo "B", particularmente para espesores mayores de 12,5 mm, pues une a las ventajas de una descuidable manutención, la de unas mejores características de resiliencia a baja temperatura.

Las características de resistencia del acero CORTEN son muy satisfactorias, como se puede desprender de la tabla siguiente:

	Ruptura kg/mm ²	Carga de fluencia kg/mm ²	Alarga- miento sobre 2"
Tipo "A" (espesor $\leq 12,5$)	≥ 49	≥ 35	≥ 24
Tipo "B" (" 12,5 $\div$ 100)	≥ 49	≥ 35	≥ 24

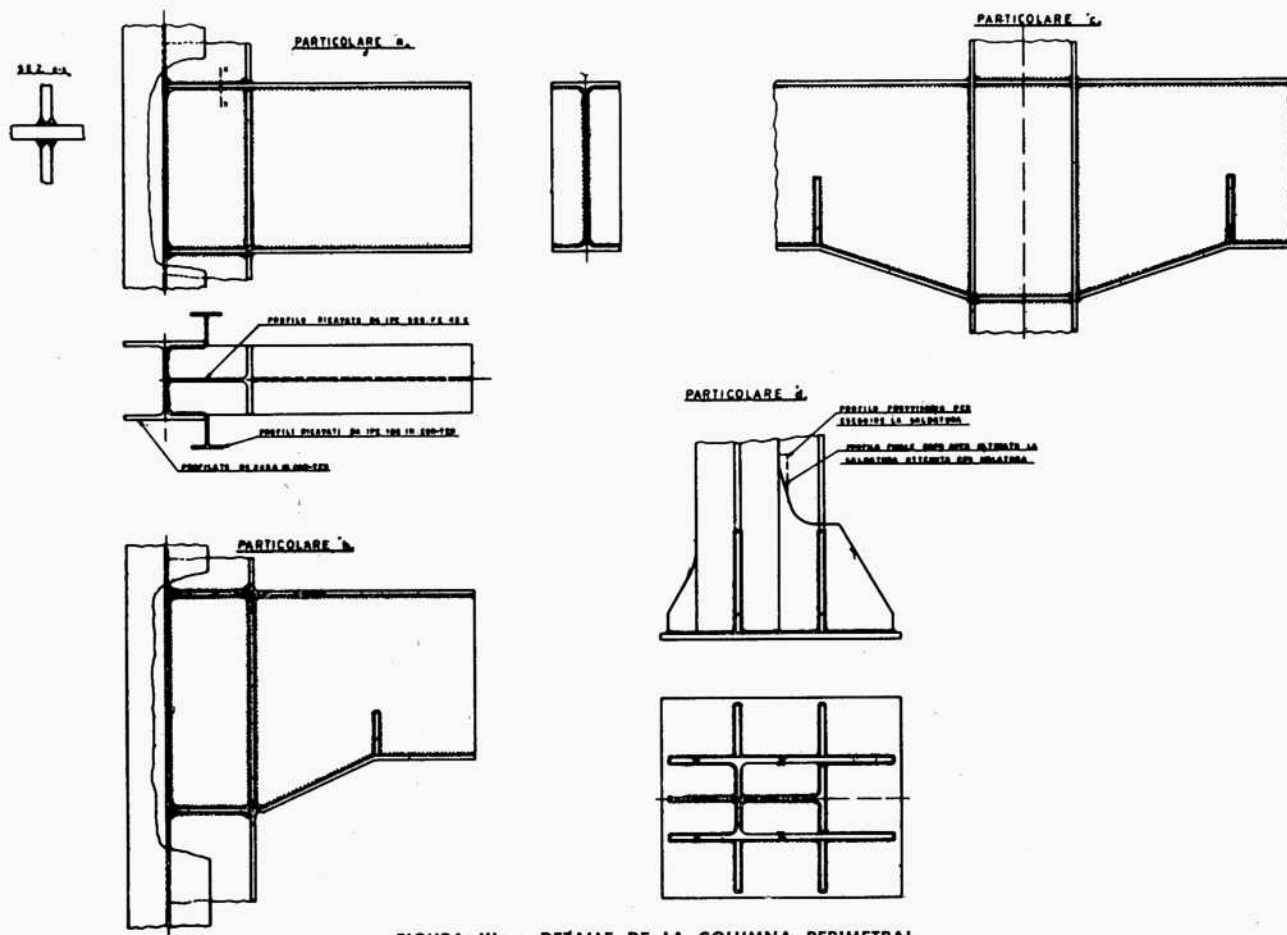


FIGURA III — DETALLE DE LA COLUMNA PERIMETRAL.

Particolare = detalle; Profile ricavato da IPE 500 Fe/42 C = perfil IPE 500 Fe/42 C; profili ricavati da IPE 180 in COR-TEN = perfiles IPE 180 en COR-TEN; profilato NE 240 A in COR-TEN = acero NE 240 A COR-TEN; profilo provvisorio per eseguire la saldatura = perfil provisional para ejecutar la soldadura; profilo finale dopo aver ultimato la saldatura ottenuto con molatura = perfil final, luego de haber terminado la soldadura, obtenido por rebaje.

Por lo que se refiere a las características de resiliencia, mientras para el tipo B se pueden obtener valores de resiliencia Charpy V de 3,5 kg/cm² a -20°, una garantía en este sentido es más difícil para los aceros de tipo "A", particularmente en el caso de perfiles en los cuales no sea posible agregar, si fuera necesario, el correctivo de la normalización.

Sin embargo se pueden lograr valores promedios de 3,5 kg/cm² a la temperatura de 0°C.

Sin embargo, podemos destacar que en el CORTEN A se puede encontrar alguna vez una sensible bajada de la resiliencia en proximidad de la soldadura, fenómeno que, de otra parte, ocurre también en otros tipos de acero.

Aceros que constituyen las columnas perimetrales de los edificios.

En el caso específico de las columnas perimetrales de los edificios en cuestión, el problema del aspecto cromáti-

co y de las elevadas características tecnológicas del material, ha sido solucionado, como ya se ha dicho, mediante el empleo de un acero CORTEN A para la parte a la vista de las columnas mismas y de un acero Fe 42 C para la parte no a la vista; parte, esta última, particularmente importante, siendo que en esa hacen cabo las ménsulas destinadas a servir de encaje para las vigas transversales de los armazones.

De todo esto ha resultado así una columna de sección compuesta, conforme a lo ilustrado en la Tabla III; como se puede desprender de esta figura, la parte exterior de la sección compuesta está constituida por un perfil HE 240 de CORTEN A, mientras el alma y la parte interior están constituidas por un perfil T Fe 42 C, sacado de una viga IPE 500 cortada longitudinalmente según el eje del alma.

Los dos perfiles están unidos entre ellos mediante dos soldaduras en ángulo, longitudinales, que unen el borde del perfil T al alma del perfil HE de CORTEN.

Dos pequeños perfiles T, soldados sobre los bordes interiores de la viga HE, sacados de una viga IPE 180 de CORTEN y que tienen parciales razones decorativas, completan la sección.

La solución mixta adoptada ofrecía valores no discutibles, aún necesitando la solución de unos problemas de construcción debidos a la particular conformación de los elementos perimetrales portantes.

Sin embargo con un oportuno estudio de los detalles y de las secuencias ejecutivas, dichos problemas fueron felizmente solucionados.

Investigaciones, comprobaciones y pruebas de idoneidad de los perfiles HE 240 de CORTEN.

Se ha querido, antes de todo, proceder a cierto número de investigaciones preliminares y a una comprobación oportunamente detenida del material abastecido.

Las investigaciones preliminares han sido hechas sobre dos pedazos de perfiles HE 240 de CORTEN A de medidas iguales a las previstas para la construcción, para averiguar el fenómeno de la bajada de la resiliencia en la zona alterada por el calor de la soldadura. De dichos perfiles fueron sacados unos tramos de platabanda, cuyo espesor era de 16 mm, y con ellos se realizaron unas juntas soldadas de tope, de manera tal que la soldadura fuera normal al sentido de la laminación; la forma particular del cincel elegido permitía, como se verá, una investigación particularmente significativa sobre la resiliencia de la zona afectada por el calor de la soldadura.

Las muestras, que fueron del tipo Charpy V, fueron sacadas en sentido normal a la junta soldada, eso es, en el de la laminación del perfil, y, para investigar la zona alterada por el calor en toda su magnitud, la entalla fué efectuada en puntos de dicha zona diversamente alejados de la junta propia y verdadera; por cada punto predeterminado a investigar se sacaron tres muestras.

Los resultados de esta investigación están resumidos en el diagrama representado en la tabla IV que muestra, además del tipo de junta elegida, el variar de la resiliencia Charpy V a 0°C al variar de la distancia desde la soldadura.

A la extremidad derecha de los diagramas a saber en correspondencia del punto MB sobre el eje de las abscisas, están indicados los valores de resiliencia del material base inalterado que resultan satisfactorios; a la extremidad opuesta se encuentran los valores de resiliencia en la inmediata proximidad de la junta, valores que resultan particularmente elevados; entre estos dos puntos extremos, en cambio, se observan disminuciones en los valores de resiliencia (debidos probablemente a precipitación de cementita terciaria).

Lo ya expuesto sugiere que los detalles de construcción en las zonas cercanas a las soldaduras sean estudiados de manera de evitar discontinuidades geométricas, previendo oportunos empalmes iniciales en los mismos puntos (ver tabla III, detalle D).

Como es sabido, una vez eliminados los efectos de entalla, el fenómeno de una eventual ruptura frágil, debida a una disminuida resiliencia, queda prácticamente eliminado.

DIAGRAMMA DELLE RESILIENZE CHARPY V IN FUNZIONE DELLA DISTANZA DALLA ZONA FUSA IN SAGGIO LONGITUDINALE A 0°C

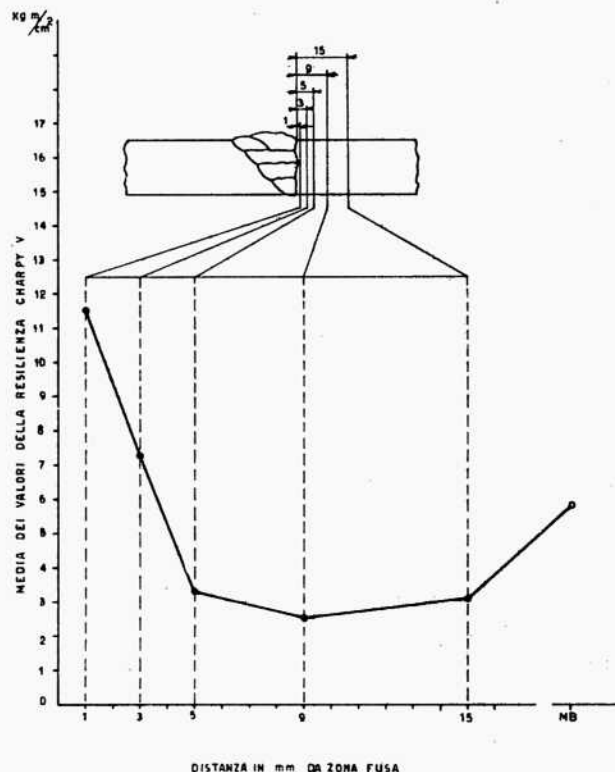


FIGURA IV — DIAGRAMA DE RESILIENCIAS CHARPY EN V, EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA DE LA ZONA FUNDIDA EN MUESTRA LONGITUDINAL A 0°C.

Media dei valori della resilienza Charpy V = promedio de los valores de resiliencia Charpy en V; distanza in mm da zona fusa = distancia en mm de la zona fundida.

Por lo que se refiere a la comprobación de la resiliencia de los aceros CORTEN tipo A suministrados, han sido sacados, de distintas vigas pertenecientes a la misma colada, unos pedazos de extremidad de oportuno largo.

Las pruebas de resiliencia sobre muestras sacadas de dichos pedazos, aún proporcionando valores aceptables, han puesto en evidencia el hecho de que la resiliencia varía a lo largo del eje longitudinal de la viga: precisamente, los valores de resiliencia han resultado más elevados en las partes finales de las vigas respecto a los de la parte central.

Es lícito deducir que el enfriamiento más rápido que hay durante la laminación en la extremidades de las vigas es el fenómeno al cual tiene que atribuirse el distinto comportamiento en las pruebas efectuadas.

Detalles de construcción de las columnas perimetrales.

Los más importantes detalles de construcción de las columnas perimetrales están reflejados en la Tabla III.

En la tabla mencionada figura el nudo columnas-vigas transversales y la base de la columna.

Como se puede observar, para que resulte más eficaz el ensamblaje y por razones de construcción, la ménsula ha sido ubicada directamente sobre el perfil HE 240 de COR-

TEN A interrumpiendo en correspondencia de la misma las medias vigas IPE de 500; la efectiva continuidad de las unidades IPE al través de las ménsulas ha sido realizada por medio de soldaduras de completa penetración sobre la platabanda de las ménsulas.

Como se puede observar, los cordones de soldadura efectuados sobre acero CORTEN A, no caen en puntos de discontinuidad geométrica; además éstos están todos ubicados en proximidad del eje neutro de la sección de la columna.

Para evitar efectos de entalla debidos a la soldadura de las ménsulas sobre el borde en el interior de las alas del perfil de CORTEN, el tramo de cordón de soldadura —como se observa en la Tabla III— ha sido parado algo antes del borde del perfil.

Por lo que se refiere a la unión de la columna al basamento —indicada en la Tabla III— siendo necesario encajar las columnas de CORTEN al basamento, la forma geométrica de las placas ha sido estudiada en manera tal de realizar un empalme suave con el perfil.

Como se observa, las chapas soldadas de tope sobre las alas del perfil fueron realizadas algo más largas de lo que precisa y moldeadas en manera tal de poder conseguir, después de finalizada la soldadura de tope, la deseada unión mediante corte a la llama y sucesiva amoldadura.

Prefabricación de las columnas perimetrales.

Estas columnas son largas, 18 m aproximadamente, y el perfil HE 140 de acero CORTEN tiene igual longitud, y, por eso, está constituido por una pieza única sin unión.

El problema, que se ha presentado en fase de fabricación, era el de no alterar la linealidad, a pesar de las numerosas soldaduras efectuadas sobre esta pieza para unir las ménsulas y los trozos de media viga IPE, y efectuar correctamente las no siempre fáciles soldaduras previstas por el plano.

La tolerancia permitida para su rectilineidad era 1%.

El problema ha sido felizmente solucionado con una pequeña predeformación del perfil HE 240 y con una oportuna secuencia de soldaduras de las distintas piezas unidas con el perfil.

Las deformaciones observadas durante las pruebas de recepción, estuvieron largamente contenidas entre los límites previstos, habiendo sido de mm 5 la flecha máxima observada.

Para la soldadura han sido empleados electrodos de revestimiento básico de alta calidad con resistencia a la ruptura de 50+55 kg/cm².

Las obras de acero CORTEN a colocar en vista han sido limpiadas con chorros de arena gruesa en el taller, inmediatamente antes de su despacho.

Al montaje completamente ejecutado, antes de la colocación del revestimiento de las paredes, ha sido efectuada una segunda limpieza con chorros de arena silíceo fina para uniformar las superficies y sacar impurezas y grasas que se han pegado en el montaje.

Con el fin de cuidar dichas superficies limpias y uniformes para garantizar una homogénea oxidación en el tiempo, los montajes sucesivos referentes a los revestimientos de que se habla en adelante fueron obligadamente efectuados usando guantes de algodón.

Cuidados fueron además tomados con el objeto de permitir el fácil desagüe de las aguas lluvias con contenido de óxidos, que se forman en los primeros meses del curado del CORTEN.

El revestimiento de pared.

La modularidad de la instalación planimétrica y la serie por líneas repetidas de las células-laboratorio, han individuado en la pared exterior una secuencia constituida por: —estructura portante, ahora claramente identificada; —panel de cobertura destinado a contener las instalaciones; —panel de los marcos de ventana; —panel de cobertura normal.

Estos 3 últimos elementos, que constituyen, en su total, la película de revestimiento, han sido realizados utilizando acero inoxidable (foto N° 2).

El material empleado.

Se ha apelado al uso del acero inoxidable austenítico UNI X8 CND 1712 correspondiente a AISI 316, según la designación EE. UU. que, por la presencia de molibdeno en porcentaje desde 2 hasta 3%, garantiza una mayor resistencia a la corrosión.

Propiedad, esta, requerida bien sea por la relativa cercanía del edificio al mar, como por la presencia de atmósferas corrosivas procedentes de las instalaciones experimentales, en particular para el caso de vientos según la dirección Norte-Sur.

Ha sido elegido el acabado 4 de las normas AISI para todas las superficies de acero inoxidable a la vista.

Dicha superficie, en el curso de todos los trabajos, ha sido protegida con película plástica autoadhesiva.

Ensayos del material.

Numerosos ensayos anteriores a los trabajos se efectuaron con el objeto de comprobar si la asociación de acero CORTEN y acero inoxidable hubiera ocasionado, en particular en los primeros periodos, sedimentaciones de óxidos no sacables en lo sucesivo.

Se ha observado, sobre una notable cantidad de muestras, la perfecta limpiabilidad de las superficies de acero inoxidable ensuciadas por el óxido, de manera tal de proceder con tranquilidad en las operaciones previstas.

Particularidades de construcción.

El marco ha sido realizado con perfiles tubulares de acero AISI 316 empleado para toda la fachada y con accesorios también del mismo material.

Las puertas y ventanas han sido ensayadas experimentalmente para comprobar su correspondencia a las normas UNICI que se refieren a la impermeabilidad al agua y al aire, y por eso han sido dotadas de perfiles de neopreno.

Los paneles de revestimiento curvos, estudiados con el fin de realizarlos con procedimiento de tipo industrial, están constituidos, cada uno, por una cara exterior, realizada con acero inoxidable AISI 316, por una capa cohibente intermedia y por un cierre interior de chapa de acero galvanizado.

Con intervalos regulares de 80 cm aproximadamente existen nervios soldados a las extremidades, también de acero inoxidable, colocados con el fin de garantizar la indeformabilidad de cada panel.

El aislamiento térmico y acústico ha sido conseguido mediante la aposición de un medio amortiguador de ruidos de rociado, obrante también como fijador de la capa cohibente verdadera, realizada con ultralita.

Anteriores experiencias efectuadas inyectando poliuretanos expansos entre las dos capas metálicas que constituyen el panel, no dieron los resultados requeridos, pues el cohibente producía deformaciones en el panel, no revisables durante el proceso de catalización.

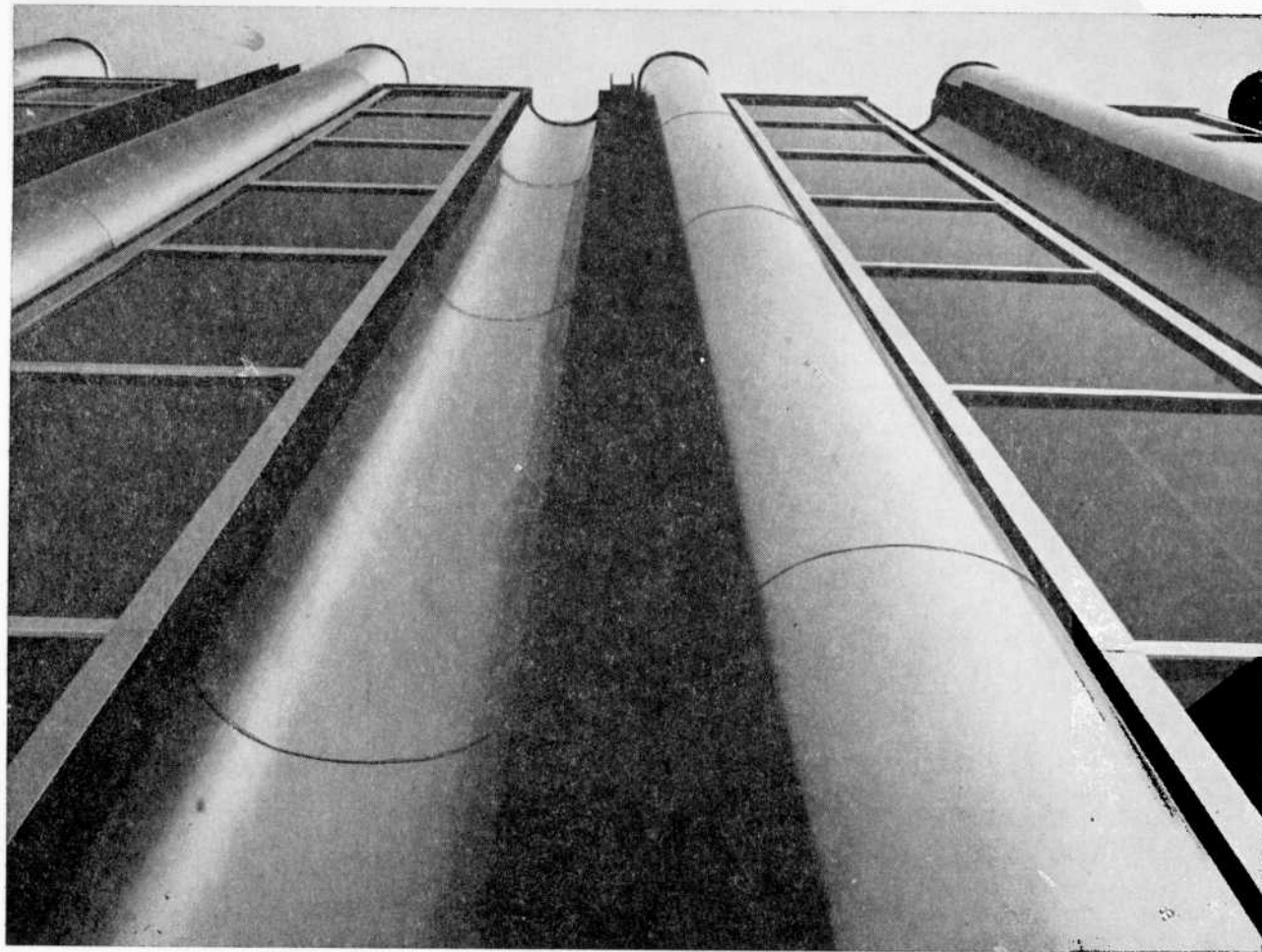
Se ha puesto cuidado particular en los estudios de los sistemas de fijación y ensamblaje de los paneles.

Eso es, bien sea para permitir los naturales movimientos del revestimiento por efecto de las excursiones térmicas, como para anular la presencia de corrientes galvánicas.

La Tabla V ya mencionada detalla también un acoplamiento entre panel de revestimiento y estructura portante.

Se ha hecho uso de plaquitas y arandelas de nylon donde precisaban elevadas resistencias mecánicas, mientras han sido utilizados perfiles tubulares elásticos de neopreno en el caso de acoplamientos estancos al aire.

A la colocación en obra completa, y con el fin de garantizar la completa impermeabilidad de la fachada, todas las grietas continuas hacia el exterior han sido selladas con masillas de elastómeros a base de Thiokol.



Fotografía N° 2 DETALLE DEL MODULO DE REVESTIMIENTO.

A N E X O

ACEROS DE ALTA RESISTENCIA Y BAJA ALEACION

Nómina de productores estadounidenses y sus respectivas marcas comerciales.

Empresa:	Marca registrada:
ACME Steel Company	Cor-Ten
Alan Wood Steel Company	Dynalloy 50
Algoma Steel Corporation, Ltd.	Cor-Ten
ARMCO Steel Corporation	High Strength N° 1
Bethlehem Steel Company	High Strength N° 2
Dominion Foundries & Steel, Ltd.	Mayari R
Granite City-Steel Company	Dafascoloy P
Great Lakes Steel Corporation	Cor-Ten
Inland Steel Company	N-A-X High-Tensile
	Hi-Steel
	Cor-Ten
Jones & Laughlin Steel Corporation	Ni-Cu-Ti
	Cor-Ten
Kaiser Steel Corporation	Kaisaloy 50 CR
McLouth Steel Corporation	ML-50
Pittsburgh Steel Company	Pitt-TEN N° 1
Republic Steel Corporation	Cor-Ten
	Republic "50"
	N-A-X High-Tensile
Sharon Steel Corporation	Cor-Ten
	N-A-X High-Tensile
Steel Company of Canada, Ltd.	Stelcoloy "G"
United States Steel Corporation	Cor-Ten
Weirton Steel Company	N-A-X High-Tensile
Wheeling Steel Corporation	Cor-Ten
The Youngstown Sheet and Tube Company	Yaloy HS
	Yaloy HSX

Fuente: American Iron and Steel Institute.

Síntesis de los debates originados durante la Sesión de Temas Varios.

Respecto de la Conferencia del Sr. Hans Weineck

J. Astier — Quisiera hacer una pregunta o, más bien, un comentario en torno al siguiente punto. Si como usted dice, hay una tendencia futura hacia la pre-reducción del mineral de hierro, la que se podría hacer en países en desarrollo, como en América Latina, ocurre que la planta siderúrgica del futuro en Europa o en general en los países industrializados, podría estar constituida principalmente por laminadores, por supuesto, pero en cuanto a la parte metalúrgica, con hornos eléctricos de arco, por ejemplo. Esto podría determinar, en mi opinión, un cambio muy grande de la estructura del consumo de energía entre los países en desarrollo y los países industrializados. Me gustaría mucho saber qué opina usted de esta posibilidad.

Si usted está desarrollando la pre-reducción o la metalización de los minerales en los países en desarrollo, una gran parte de la necesidad de energía estará en estos países, de modo que disminuirá la energía consumida por tonelada de acero en un país industrializado. ¿Qué opina usted?

H. Weineck — Así es. En la segunda parte del trabajo señalé que hay un gran cambio en la producción de energía y en los balances de energía de las plantas siderúrgicas. En el caso planteado por el señor Astier, que hemos estudiado esta última semana en Alemania en nuestro Comité, las centrales nucleares tienen una buena posibilidad de suministrar corriente a las plantas siderúrgicas. En el primer cuadro se vio que una planta siderúrgica que tiene su propio gas de coquería y su propio gas de alto horno puede resolver todo su problema de energía y producir su propia corriente. En el momento en que se pasa a la reducción directa y al horno eléctrico de arco, es otra cosa y queda la posibilidad de que dos, tres o cuatro siderúrgicas grandes construyan conjuntamente una central nuclear de 600 MV; pero es un sueño para el futuro, dentro de quince o veinte años; no es cosa para hoy.

Respecto de la Conferencia del Sr. Fermín J. Asensio.

L. Prada — ¿Se ha observado alguna correlación entre los valores de hinchamiento de minerales de hierro y sus resultados en el alto horno, que permita establecer los valores límites de aceptación de esa materia prima?

F. J. Asensio — No se ha observado ninguna correlación puesto que, en el caso único presentado aquí, de un hinchamiento de un 41%, la proporción de este mineral en el lecho de fusión del horno era extraordinariamente pequeña; de cualquier modo los cálculos que se pueden establecer entre los huecos creados por el volumen del coque dentro del horno, nos permitieron después de numerosas discusiones, admitir aunque con reservas, un hinchamiento de incluso hasta 20%. De cualquier modo es totalmente anormal.

L. Prada — En el caso de la decrepitación, ¿llega por los mismos pasos aproximadamente?

F. J. Asensio — En el caso de la decrepitación parece ser que los trastornos se producen en la marcha cuando llega a producirse finos en proporción de un 5%, pues la permeabilidad del lecho cae bruscamente, habiendo que

aumentar la presión para conseguir meter el mismo volumen de viento. Por lo tanto, se estimó que 5% era el tope máximo, máximo admisible en la degradación.

A. Gamboa — Respecto de la figura 4, el gráfico que muestra la correlación entre el grado de oxidación final y el tamaño de los pélets del diámetro en mm, quisiera hacerle la pregunta de si debe entenderse esto como que hay una reducción física en el tamaño del diámetro por el grado de oxidación final, es decir, por la reducción del óxido, o si es simplemente el hecho de que las condiciones de la prueba, en las condiciones de temperatura, fijan por sí un flujo de gas reductor, y determinan que el grado de reducción final sea una función más bien del diámetro del material usado.

F. J. Asensio — Realmente es una función del diámetro del material usado. Las condiciones del ensayo no permiten que la cinética de reducción avance en un sentido más profundo; limita la reducción, precisamente a la superficie del pélet. Entonces, en igualdad de otros factores de temperatura de tostado del pélet, la influencia de este diámetro es lo que decide.

A. Gamboa — Quiere decir, entonces, que el método en realidad, esta vez se determinó por el tamaño físico del material usado, y no por una propiedad intrínseca del óxido mismo, de la estructura misma del material.

Quería hacerle otra pregunta sobre el mismo gráfico, en lo que respecta a la reducibilidad del sinter, que evidentemente resulta menor que la de los otros. Ese es un hecho conocido, porque la estructura que se obtiene en la sinterización, es una estructura ígnea del material, y por lo tanto, más bien disminuye la reducibilidad del material. Los beneficios que se derivan de la utilización del sinter no son precisamente por mejoras en la reducibilidad del material, sino por otras de orden físico.

F. J. Asensio — Existe un factor importante en la fabricación del sinterizado, desde el punto de vista de la reducibilidad. En la misma mezcla mineral para producir un sinterizado determinado, puede obtenerse un valor de la reducibilidad mayor o menor; depende en mi entender, del contenido de cisco de coque que lleva la mezcla, es decir, las calorías que aporta por combustible sólido y las calorías que aporta por combustible gaseoso al proceso global. De cualquier modo, hay muchos otros factores, como es la basicidad, el índice de basicidad, que también determina que un sinterizado tenga una reducibilidad mayor o menor.

Respecto de la Conferencia de los señores Carlos Beingolea y Jobs Wasmuht.

S. Gertsman — ¿Han ensayado cromar los moldes de cobre, para mejorar su durabilidad?

C. Beingolea — Sí, lo ensayamos y vimos que no resultaba muy satisfactorio. No fue de mucha ayuda, por eso ahora estamos trabajando con moldes de cobre puro.

S. Gertsman — En algunos países, el cromado ha tenido buen éxito. Depende del tipo de cromado que se aplique. Con los aceros calmados con aluminio, ¿han tenido dificultades para cerrar la cuchara?

C. Beingolea — En la cuchara no tenemos grandes problemas, pero sí en la cuchara de distribución cuando el contenido de aluminio sube hasta 300 gramos por tonelada. En este caso realizamos la desoxidación con calcio silicio de modo que haya que agregar solamente 200 gramos de aluminio por tonelada en la cuchara.

A. Schacht — Quisiera nos explicara las razones que primaron en la elección de una máquina tipo "vertical bend".

C. Beingolea — Cuando nuestra sociedad hizo el pedido de la máquina todavía no estaba suficientemente probada la máquina de colada continua de molde curvo (máquina en S). Nuestra máquina se pidió, si no me equivoco, en el año 1962, y la máquina de molde curvo entró a trabajar eficientemente después de esta fecha.

J. C. Pehr — Tengo entendido que los laminadores de SOGESA tienen un desbastador suficientemente potente y grande para iniciar la laminación con una mayor sección de palanquilla. Quisiera preguntar si SOGESA está considerando esa posibilidad que creo aumentaría mucho su potencial de producción.

C. Beingolea — En este momento se está haciendo el estudio respectivo por nuestro departamento de ingeniería para pasar a 150 x 150 mm a la brevedad posible.

Respecto de la Conferencia del Sr. Werner Krebs, expuesta por el Sr. Wolfgang Oertel.

A. Gamboa — En el trabajo se menciona que los aceros rápidos son superiores a los carburos sinterizados. Quisiera saber en qué sentido debe entenderse esa superioridad y por qué, cuál es la causa.

W. Krebs — En el trabajo con máquinas herramientas los aceros rápidos, debido a su mayor tenacidad, son superiores a los carburos sinterizados.

Respecto de la Conferencia de los señores Franco Federici y Franco Cepolina.

S. Gertsman — En los revestimientos con acero CORTEN, pasado cierto número de años, ¿han observado ustedes descamación del óxido formado en la superficie del acero, en la parte inferior de las columnas verticales, allí donde el acero puede ir unido al hormigón?

F. Cepolina — No ha habido descamación. La columna de acero se trató una primera vez con arena y por segunda vez después de haberla empotrado por completo.

E. Ayala Medina — Se dice que en el proyecto del edificio se utilizó el material buscando emplearlo sin protección o pintura. Sin embargo, en algunos lugares se exige cierta protección contra el fuego. En Italia, en términos generales, ¿cuáles son las reglas para la protección contra el fuego en estructuras metálicas?

F. Cepolina — En Italia no existen normas muy exactas para la protección contra el fuego para tipos de estructuras como la descrita, pues no son muy comunes todavía. Sin embargo, al consultar al Cuerpo de Bomberos de Roma se nos dijo que no era necesaria ninguna protección adicional, porque en el edificio lo que se llama carga de fuego, es decir, porcentaje de materiales que podrían inflamarse, no era tal como para preocuparse.

Sesión de Clausura

Nota introductoria.

El jueves 19 de septiembre en horas de la tarde, en el salón Perú, del Hotel Crillón de Lima, tuvo lugar la sesión solemne de clausura del VIII Congreso y IX Asamblea de ILAFA.

La sesión fue presidida por Tte. Gral. Pedro F. Castiñeiras, acompañado por el Vicepresidente Segundo del Instituto, Sr. David Appel, el Presidente y el Director Gerente de la SOGESA, Ings. Manuel Ugarteche y Hernando Arciniega, respectivamente. Completaron la mesa, cumpliendo funciones de Secretaría, el Ing. Aníbal Gómez, Secretario General de ILAFA y el Sr. Marcelo Ducrey, Coordinador de la Secretaría General.

Se inició el acto con el informe ofrecido por el Secretario General del Instituto, quién dió cuenta de los últimos progresos registrados en la siderúrgica y la minería del

fierro de América Latina, cuyo texto completo se reproduce en este capítulo de la Memoria.

A continuación, transmitieron sendos saludos de sus instituciones, los señores: Ing. Bruno Leuschner, representante de CEPAL y de ONUDI; Dr. Ing. Heinz Treptow, de Verein Deutscher Eisenhüttenleute; Ing. Henry Cleere, del Iron and Steel Institute, de Gran Bretaña y Dr. John P. Roche, del American Iron and Steel Institute.

El Director peruano de ILAFA y Gerente Técnico de SOGESA, Ing. René Barbis, respondió en nombre de los anfitriones a las expresiones de reconocimiento formuladas por los congresistas.

Finalmente cerrando el acto y clausurando el VIII Congreso y IX Asamblea General de ILAFA, el presidente Tte. Gral. Castiñeiras se dirigió a los congresistas invitándolos a la próxima reunión programada para octubre de 1969, en Buenos Aires.

SECRETARIA GENERAL
MONEDA 1140 - 6.º PISO
CASILLA 13810 - TELEFONO 62519
SANTIAGO DE CHILE