

CNEA-AC 77/85

PMTM/A-75

04.85.29

ej 1

REPUBLICA ARGENTINA
COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
Dependiente de la Presidencia de la Nación
GERENCIA DE DESARROLLO

GUIA DE TRABAJOS PRACTICOS DEL CURSO DE ACEROS

Buenos Aires

1985

1.- ESTRUCTURAS CRISTALINAS DEL HIERRO:

1.1.- El hierro experimenta a 910°C . una transformación alotrópica $\text{Fe-}\alpha(\text{B.C.C.}) \rightarrow \text{Fe-}\gamma(\text{F.C.C.})$, sabiendo que el radio atómico permanece constante. Calcúlese la relación de densidades.

1.2.- Calcúlese el diámetro máximo de los átomos que pueden situarse en los intersticio de los $\text{Fe-}\alpha$ y $\text{Fe-}\gamma$ cuyos parámetros reticulares son $2.9 \text{ \AA}$ y $3.6 \text{ \AA}$ respectivamente. Supuesto para el $\text{Fe-}\gamma$ una concentración de C 1% en peso ¿Qué tanto % de celdillas unitarias tienen átomos de carbono?.

1.3.-Calcular para el $\text{Fe-}\alpha$ ($2.9 \text{ \AA} = a$) y el $\text{Fe-}\gamma$ ($a = 3.6 \text{ \AA}$) :
a) Densidad atómica lineal en las direcciones $\langle 111 \rangle$, $\langle 110 \rangle$ y $\langle 100 \rangle$;
b) Densidad atómica superficial en los planos $\langle 111 \rangle$, $\langle 110 \rangle$ y $\langle 100 \rangle$

1.4. Compare, teniendo en cuenta las estructuras de la fase α y de la fase γ del Fe; a) La solubilidad de átomos intersticiales, como por ejemplo el C; en ambas fases; b) La difusividad de elementos aleantes en ambas fases.

2.- ELEMENTOS INTERSTICIALES Y EL BORO:

- 2.1. Calcular la solubilidad del nitrógeno en Fe- α , γ y δ . De acuerdo al tamaño de los intersticios ¿en qué estructuras es mayor y en cual menor?.
- 2.2. Mencione las reacciones químicas posibles propuestas por DARKEN cuando el amoníaco está en contacto con el Fe. Mencione cuál es la principal reacción que permite entrar al nitrógeno en solución sólida.
- 2.3. ¿Varía la solubilidad del hidrógeno con el estado de tensiones en los aceros o es independiente del mismo?.
- 2.4. Calcular la solubilidad teórica del hidrógeno en un acero que está en una atmósfera hidrogenante a una presión de 100 atmósferas.

3.- DIAGRAMA Fe-C:

3.1.- Calcular la densidad de la austenita y la cementita sabiendo que la densidad de la ferrita es 7.860 Kg/m^3 y la de la perlita 7.820 Kg/m^3 . Si se obtiene una micrografía de un acero resultando que la ferrita ocupa un 75% de la superficie ¿Cuál será el tanto % de C?.

3.2.- Se tiene un acero con 0,05% de C y se pide:

a) Estudiar las transformaciones que puede sufrir enfriándolo desde el estado líquido hasta la temperatura ambiente.

b) Indicar, en las regiones de campo bifásico, las fases en nombre y proporción que se tienen a una temperatura determinada.

c) Constituyentes y fases a la temperatura ambiente, calculando la superficie que ocupará cada uno en una micrografía.

Refiérase Figura 1.

3.3.- Un acero con 0,5 % en masa de C enfriado lentamente contiene, a la temperatura ambiente, ferrita y cementita. Calcúlese los % de cada fase, así como las cantidades de C disuelto y combinado que hay en 10 Kgr.

3.4.- ¿Cuál es el número máximo de Kgr de C que pueden formar solución sólida con 1000 Kgr. de Fe puro y a que temperatura? Enfriando hasta T° ambiente, ¿Qué constituyentes aparecerán y en que proporción?.

3.5.- Un acero con 0,6% C se enfría lentamente desde la región austenítica con temperaturas 100°C por encima de la de equilibrio, hasta temperatura ambiente. Calcúlese: a) Temperatura inicial de enfriamiento; b) La composición de fases proeutectoide.

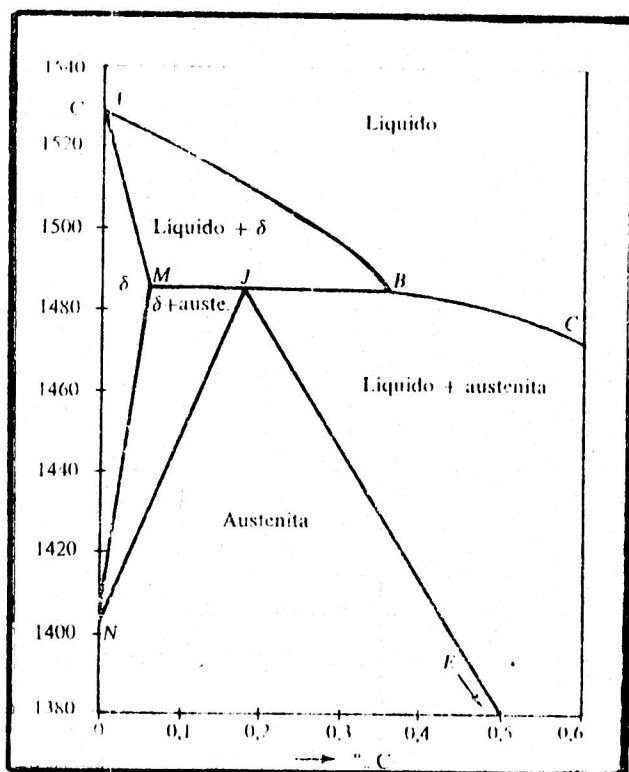


FIGURA 1

4.- ACEROS AL CARBONO:

- 4.1.- ¿Qué relación hay entre "tratamientos térmicos" y "transformaciones en estado sólido"?
- 4.2.- ¿Qué datos permiten conocer los tratamientos isotérmicos?
- 4.3.- ¿Qué es una curva TTT? ¿Qué forma tiene?
- 4.4.- ¿En qué se diferencia una "transformación martensítica" de una "transformación de nucleación y crecimiento"?
- 4.5.- ¿Qué indica la temperatura M_s ?
- 4.6.- ¿Qué es un diagrama de enfriamiento continuo?
- 4.7.- ¿Cómo se construye un diagrama TTT?
- 4.8.- ¿Qué aspecto tiene un diagrama TTT y un diagrama de enfriamiento continuo superpuesto para un mismo acero?
- 4.9.- ¿Porqué las curvas TTT tienen la forma de C?
- 4.10.- ¿Porqué el tiempo necesario para que comience la reacción eutectoidea por encima de la punta de la nariz disminuye al aumentar la T° ?
- 4.11.- ¿Cómo es la curva TTT de un acero hipo e hipereutectoide?
- 4.12.- ¿Cómo se puede hacer para modificar el tamaño de grano ferrítico?
- 4.13.- ¿Los elementos de aleación tienen efecto sobre la dureza final del acero?
- 4.14.- ¿Qué es un ensayo Jominy? ¿Para qué se utiliza?
- 4.15.- ¿Cuáles son las principales ventajas del austempering comparado con el temple convencional y revenido?
- 4.16.- ¿Cuáles son las limitaciones del martempering?

5.- ELEMENTOS DE ALEACION EN ACEROS:

5.1.- ¿Qué condiciones deben cumplir los elementos que forman compuestos intersticiales?. Para el caso particular del Boro en el Hierro ¿Qué puede decir?.

5.2.- ¿Qué elementos utilizaría para extender la zona γ del diagrama Fe-C? , por el contrario ¿Qué elementos utilizaría para restringirlo?.

5.3.- La energía libre de una aleación de Grafito-Hierro es más baja que la cementita - Hierro. Sin embargo la cementita se forma normalmente a partir de hierro sobresaturado con carbono ¿Cómo puede conciliar estos hechos?.

5.4.- ¿Porqué el carbono, nitrógeno e hidrógeno son más solubles en la austenita que en la ferrita?.

5.5.- ¿Como podría determinar el % de C y de N disuelto en la ferrita.

CAPITULO VI

TRANSFORMACION MARTENSITICA

6.1. Defina el plano de hábito de una transformación martensítica

6.2. Encuentre la temperatura de equilibrio T_0 de las energías libres de las fases martensita y austenita y las temperaturas M_s y A_s para una aleación Fe-20% Ni. (Utilizar la Figura 6.7. del apunte.

6.3. ¿Porqué es imposible observar, para un acero al carbono, la temperatura de transformación inversa A_s de martensita a austenita?.

6.4. La aleación Fe-18% Cr-12% Ni transforma espontáneamente por enfriamiento a martensita ϵ a la temperatura $M_s = -65^\circ\text{C}$. A esa temperatura se verifica que:

$$\Delta G^{\gamma \rightarrow \epsilon} = -126 \text{ J/mol}$$

$$\sigma = 0,012 \text{ J/m}^2$$

$$\epsilon^d = (1\% \text{ de contracción}) = 42 \text{ J/mol}$$

Encontrar, según la teoría de OLSON-COHEN, el tamaño n y el número de dislocaciones del embrión de la transformación.

6.5. La aleación estudiada en el problema 4, transforma a martensita ϵ por deformación a una temperatura de $M_d = 388^\circ\text{K}$.

A esa temperatura es:

$$\Delta G^{\gamma \rightarrow \epsilon} \text{ (química)} = -300 \text{ J/Mol.}$$

Sabiendo que la deformación ha sido producida por un esfuerzo de corte puro, encuentre su valor a partir de la teoría de nucleación de OLSON-COHEN.

Datos suplementarios:

$$\gamma_0 = 0,2 \text{ (Deformación de corte característico)}$$

$$V_m = 7,18 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{mol} \text{ (Volumen molar).}$$

6.6. Para un acero 4340 (0,42% C-0,78% Mn- 0,24% Si - 0,80%Cr - 0,33% Mo - 1,80%Ni) encuentre la temperatura M_s y la influencia que tendrá sobre la misma un proceso de carburización superficial que

eleve la concentración de carbono a 0,82%. Compare el valor empírico de M_s con el valor real medido de $M_s = 280^\circ\text{C}$.

6.7. Señale los principales fenómenos que producen el endurecimiento martensítico.

CAPITULO VII

TRANSFORMACION BAINITICA

7.1. En la obtención de aceros bainíticos, explique cual es la acción ejercida por los elementos de aleación.

7.2. ¿Cuál es la ventaja práctica de un acero bainítico?.

7.3. ¿Qué diferencias morfológicas existen entre la bainita superior y la bainita inferior?.

CAPITULO VIII

REVENIDO DE ACEROS

- 8.1. ¿A qué se debe la pérdida de tetragonalidad de la martensita en el revenido de los aceros templados?.
- 8.2. ¿Si un acero ferrítico es templado y revenido a una temperatura tal que toda la estructura martensítica transforme a ferrítica, cuál es el beneficio obtenido?.
- 8.3. ¿En qué consiste el autorevenido?.
- 8.4. ¿Cuáles son los efectos de los elementos de aleación en el endurecimiento de la estructura de revenido de un acero templado?.
- 8.5. ¿En que consiste el endurecimiento secundario en el revenido de ciertas aleaciones? ¿En qué aplicaciones es utilizada esta propiedad?.

CAPITULO IX

DEFORMACION EN CALIENTE DE ACEROS

9.1. Asumiendo que la energía de activación aparente de la deformación en caliente es del orden de la de autodifusión del Fe (Capítulo II, Tabla 2.1.), calcular la variación de resistencia a la deformación asociada a los cambios de temperatura ($800^{\circ}\text{C} - 1300^{\circ}\text{C}$) y de velocidad de deformación ($0,1 - 10^2 \text{ s}^{-1}$), utilizando para ello, las expresiones 9.3. y 9.4. respectivamente ($A' = 3,5 \times 10^6$; $N = 5$, $A'' = 3,2 \times 10^9$; $m = 0,53$). Graficar.

9.2. Utilizando la expresión 9.9. y valores de los constantes de la Tabla 9.III, calcular cuanto más "duro" resultará un acero tipo 21-4N, con respecto a un acero dulce (mild-steel), laminador ambos en similares condiciones ($\dot{\epsilon} = 2,5^{-1}$, $1000 < T < 1300^{\circ}\text{C}$). Hacer lo propio, con un acero inoxidable tipo AISI 321, Graficar.

9.3. Enuncie los diferentes mecanismos de restauración; explique las diferencias entre ellos, rangos de aparición y principales características.

9.4. Grafique todos los resultados presentados en la Tabla II, de manera tal de disponer de un gráfico T vs C , para diferentes contenidos de Nb y responda la siguiente pregunta: pudiendo llegar a ser del orden del $\pm 5\%$ la diferencia de temperaturas entre un extremo y otro de una barra que se lamina en caliente ($T_{\text{salida horno}} = 1200^{\circ}\text{C} - T_{\text{salida del tren}} = 980^{\circ}\text{C}$), cuál sería el nivel máximo de microaleación para que en un acero con $0,05\%$ de C, el microaleante no precipite durante la laminación. Este nivel mínimo puede ser disuelto a la temperatura de horno utilizada.

En caso de no ser posible asegurar su no precipitación, que sugerencias se le ocurren para garantizarla. Enumérelas.

9.5. Qué entiende por laminación controlada, se trata efectivamente de un tratamiento termomecánico?. ¿Se podría utilizar algún principio de aquella para otra operación de deformación en caliente?. ¿Cuál? ¿Como la implementaría?.

9.6. Cuáles son los principales parámetros que caracterizan la ductilidad en caliente de un acero? ¿Qué sugiere cada uno de ellos?.

10.- LA ESTRUCTURA DE LOS ACEROS ALEADOS:

- 10.1.- ¿Cuál es el principal elemento estabilizador de los carburos del tipo M_6C en un acero para herramientas?.
- 10.2.- ¿En un acero inoxidable, qué tipo de carburo contiene mayor proporción de Cromo (Cr): El M_7C_3 o el $M_{23}C_6$?
- 10.3.- ¿Cuáles son los principales formadores de carburos que se agregan a los aceros para disminuir el contenido de C de la matriz?.
- 10.4.- ¿Qué tipos de carburos esperaba Ud. encontrar en un acero de composición: 0,08% C, 1,2% Mn, 18% Cr, 10% Ni, 0,8% Nb resto Fe?.
- 10.5.- ¿Cuáles son los carburos primarios de solidificación en un acero para herramientas M_2 y en cuales se transforman después de un tratamiento térmico? ¿Porqué?.
- 10.6.- ¿Cuál es el efecto perjudicial de la transformación del carburo del tipo $M_{23}C_6$, en borde de grano, en un acero inoxidable?.

11.- ACEROS INOXIDABLES:

11.1.- Explicar la resistencia a la corrosión de los aceros inoxidables.

11.2.- ¿Qué significan elementos de aleación alfégenos? ¿Cuáles conoce?.

11.3.- ¿Qué tipos de acero inoxidable conoce? Mencione sus características principales.

11.4.- ¿Como incide el tamaño de grano austenítico sobre la resistencia a la deformación?.

11.5.- ¿Cuál es el efecto de los solutos intersticiales (Carbono + Nitrógeno)?.

11.6.- ¿Cuál es la influencia de la temperatura y la deformación durante el trabajado mecánico de un acero inoxidable austenítico?.

12. FRAGILIZACION Y FRACTURA DE ACEROS:

12.1. ¿Qué tipo de grietas conoce que se pueden generar en un acero y por que causas?.

12.2. ¿Qué tipos de fracturas conoce Ud. en los aceros y como los puede clasificar y subclasificar (tipo de rotura, causas, estructura, etc.)?

12.3. Enumerar las distintas variables que modifican la temperatura de transición dúctil-frágil en un acero y explicar las causas.

12.4. ¿Porqué un ensayo Charpy da valores de tenacidad que se pueden utilizar exclusivamente en forma comparativa y no para selección de materiales de acuerdo a sus propiedades con respecto a la propagación de fisuras?.

12.5. ¿Como se define una rotura dúctil? ¿Existen diferentes criterios?.

12.6. ¿Como afectan las inclusiones la propagación de una fisura y en que tipo de fracturas?.

12.7. ¿De que formas se pueden distribuir los carburos en un acero? ¿Que tipos de tratamientos térmicos generan estas diferentes distribuciones?.

12.8. Ejemplifique casos de fragilización que afecten al procesamiento y utilización de un acero en sus diversas etapas: colada, deformación en caliente, deformación en frío, tratamiento térmico, mecanizado, uso final.

13. RESISTENCIA AL DESGASTE:

- 13.1. Identifique los parámetros que afectan el desgaste.
- 13.2. ¿Cuales son los mecanimos de desgaste mas comunmente encontrados?.
- 13.3. ¿Existe algún material que presente un mecanismo de desgaste específico independientemente del sistema Tribologico?.
- 13.4. ¿Qué tipos de desgaste se observa en la Fotografía N° 1 obtenida en el microscopio electrónico de barrido (M.E.B.).

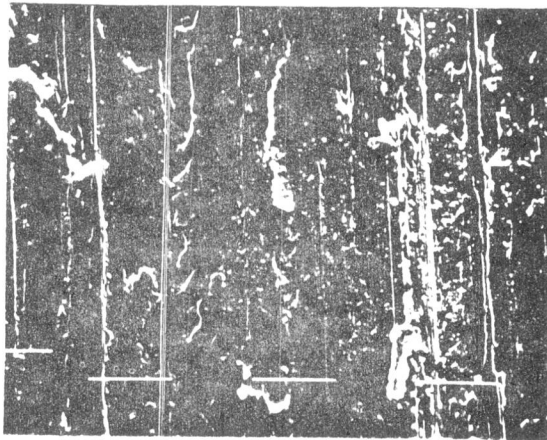


FIGURA 1

A P E N D I C E

TRATAMIENTOS TERMICOS:

1) Para aceros con 0,25, 0,90 y 1,8% de C, indíquense las temperaturas mínimas de austenización completa y máxima de calentamiento para normalizado, temple o revenido. ¿Qué estructuras estables presentan a temperatura ambiente?

Refiérase a Figuras: 1, 2 y 3.

2) Se tiene un acero con 1,5% de C y se pide:

a) Estudiar todas las transformaciones que sufre al enfriarlo desde el estado líquido.

b) ¿Cuál es la mínima temperatura a que hay que calentarlo para que sea totalmente austenítica?

c) Indíquese cómo habría de hacerse para darle un tratamiento de recocido o uno de temple.

Refiérase a Figura 3.

3) En la transformación isoterma de un acero al carbono para herramientas, austenizado 5 minutos a 900°C se han obtenido los siguientes valores:

T {°C }	700	600	500	400	300	200	100	20
Transf: comienzo	4,2min	1S	1S	4S	1min	15min	-	-
final	22min	10S	10S	2min	30min	15h	-	-
HR _C final	15	50	44	43	53	60	64	66

Construyase la gráfica e indíquense los distintos constituyentes en los distintos estadios.

Refiérase Figura 4.

4) Se tiene un acero con 0,2% C al cual se ha de dar un recocido total. Indicar la temperatura y velocidad de enfriamiento para realizarlo, así como la microestructura resultante. El mismo problema para un acero de 1.3% de C.

Refiérase Figura 2 y 5.

5) El enfriamiento de un metal desde la temperatura inicial θ_i en un medio con temperatura θ_o sigue una ley de Newton:

$$\theta - \theta_o = (\theta_i - \theta_o) e^{-a \cdot t}$$

Con a = constante característica del metal.

t = tiempo

Se realiza un ensayo con una pieza de acero a la que se calienta a 1000°C, dejándolo enfriar en un ambiente a 100°C, temperatura que se conserva constante con el tiempo. Los valores que se obtienen son:

t (s)	0	50	100	150	200	250	300	350	400	450
θ (°C)	1000	826	681	502	464	383	316	261	215	178
t (S)	500	550	600							
θ (°C)	147	121	100							

- Se pide:
- Representar gráficamente la función $\theta = f(t)$
 - A la vista de ello, admitiendo que se cumple la ley de Newton, calcular la expresión analítica.
 - Determinar la velocidad inicial de enfriamiento
 - Calcular la velocidad media de enfriamiento entre 800 y 700°C.
 - Calcular el tiempo que ha de transcurrir para alcanzar los 101°C.

6) Un acero al carbono para herramientas, hipoeutectoide, contiene a temperatura ambiente, un 38% de ferrita. Se desea templanlo en un baño de agua que se encuentra a la temperatura de 20°C. La temperatura inicial es la máxima correspondiente, en el diagrama de temple, a su contenido en carbono y se supone que, en su enfriamiento, sigue la ley de Newton. Sabiendo que, al atravesar la temperatura A_1 , su velocidad de enfriamiento es $351.5^{\circ}\text{C s}^{-1}$, ¿Cuánto tiempo debe transcurrir para que alcance la temperatura de 600°C?

Refiérase a Figura 3.

7) Se desea templan una pieza de 1,2% C, cuya masa es de 5 Kgr., en un baño de agua a 20°C, con agitación moderada, a la que corresponde una severidad de temple $H = 0,51 \text{ cm}^{-1}$. La conductividad calorífica del acero es $50.16 \text{ W m}^{-1} ^{\circ}\text{C}^{-1}$, su calor específico es $560,12 \text{ J}^{\circ}\text{C}^{-1} \text{ Kgr}^{-1}$ y el incremento de temperatura en el baño, 6°C. Calcular el volúmen mínimo de agua necesaria.

8) Se desea templan un acero con 0,4% C, calentándolo a la máxima temperatura de austenización y enfriándolo, después, en un baño a 25°C. Suponiendo que el enfriamiento siga la ley de Newton con $a = 0,71 \text{ s}^{-1}$, se pide:

a) Determinar la temperatura y velocidad iniciales de enfriamiento.

b) El tiempo que ha de transcurrir para que la velocidad de enfriamiento sea la crítica superior y a la temperatura que se alcanza.

c) Lo mismo, para la velocidad crítica inferior.

d) El tiempo que ha de transcurrir para alcanzar 30°C.

9) Cuatro muestras, A, B, C, D, de acero con 0,5% C se someten independientemente, a las siguientes operaciones:

a) Calentamiento a 900°C y enfriamiento rápido en agua hasta la temperatura ambiente.

b) Calentamiento a 900°C, enfriamiento hasta 400°C, manteniéndolo un rato a esta temperatura y enfriamiento posterior

al aire hasta temperatura ambiente.

c) Calentamiento a 900°C , enfriamiento rápido a temperatura ambiente y calentamiento posterior a 300°C , seguido de enfriamiento.

d) Calentamiento a 780°C , y enfriamiento rápido a temperatura ambiente.

Indíquese el tratamiento realizado en cada caso, así como las estructuras finales que se obtienen y el fin perseguido con ello.

10) Un acero se enfría sin anomalías, según la ley de Newton. Calentado a 800°C se le sumerge en un baño cuya temperatura, de 20°C , se mantiene constante. La velocidad inicial de enfriamiento es de $400^{\circ}\text{C s}^{-1}$.

Se pide: a) Obtener la función $\theta = f(t)$

b) Calcular θ para los valores de $t = 0,1, 1, 2, 5, 10$ y 25 s.

c) Calcular las velocidades de enfriamiento para $t = 1,5$ y 25 s.

11) Un acero cuya temperatura inicial es 850°C se introduce en un baño de temple, mantenido a 20°C . Calcular la velocidad inicial de enfriamiento, sabiendo que la velocidad media de enfriamiento entre 600 y 550°C es de $500^{\circ}\text{C s}^{-1}$ (Se supone ley de enfriamiento de Newton).

12) a) Una pequeña pieza de acero 1045 es calentada a 843°C , templada a 650°C , mantenida por 5 s y después templada a 20°C . ¿Qué fases están presentes después de cada paso?. Figura 6.

b) Un pedazo pequeño de acero 1080 es calentado a 780°C , templado a 175°C , recalentado a 290°C y mantenido por 1 min. ¿Qué fases están presentes después de cada paso?. Figura 7.

13) Una austenita es sobre enfriada a 232°C y mantenida a esa temperatura por 100 s. antes que la transformación pueda ser detectada. A 427°C , el tiempo requerido para el principio de la transformación es 1 s. Calcular el tiempo requerido para la transformación a 358°C .

- 14) Un pedazo pequeño de acero 1080 es calentado a 788°C , templado a -57°C , recalentado a 325°C y mantenido 10 s. ¿Qué fases están presentes al final de este tiempo?.
- 15) Un pequeño alambre de acero 1045 se sujeta a los siguientes tratamientos como pasos sucesivos:
- a) Calentado a 871°C y mantenido por 1 hora.
 - b) Templado a 269°C y tenido allí por 2 s.
 - c) Templado a 21°C y mantenido ahí por 100 s.
 - d) Recalentado a 538°C y tenido así por una hora.
 - e) Templado a 21°C y así tenido.
- 16) a) Repita el problema N° 15 con los pasos, a, b y e.
b) Idem con los pasos a, c, d y e.
c) Idem con los pasos a, b, d y e.
- 17) a) Haga un bosquejo de un diagrama de transformación isoterma para un acero de 1% de C.
b) Lo mismo para un acero 1020.
- 18) Un pequeño pedazo de acero 4140 (Figura 8) es templado de toda austenita a 649°C , mantenido una hora y templado a 538°C ¿Qué fases están presentes?.
- 19) Un pequeño pedazo de acero 4140 (Figura 8) es calentado a 1500°F hasta el equilibrio, templado a 700°F , mantenido 10 min. después recalentado a 1000°F (538°C) ¿Qué fases están presentes?.
- 20) Un pedazo pequeño de acero 4340 (Figura 9) es calentado a 1300°F (716°C) hasta el equilibrio, templado a 470°F (243°C) ¿Qué fases están presentes?. ¿Qué cantidad de cada una de ellas?.
- 21) Un acero 4140 (Figura 8) es calentado a 716°C hasta ser equilibrado, templado a 577°C y mantenido 1 min. ¿Qué fases están presentes?. ¿Qué cantidad de cada una?.
- 22) Considere una aleación Fe-0,3% C.
a) Dibuje la microestructura de la aleación a 850°C , 720°C y 25°C , asumiendo un enfriamiento en el horno (equilibrio) desde 900°C .

b) Dibuje las microestructuras observadas a esas temperaturas si la aleación es templada desde 1000°C a temperatura ambiente. $M_s = 100^{\circ}\text{C}$; $M_f = -100^{\circ}\text{C}$.

c) Mostrar sobre un gráfico el efecto del tiempo de envejecimiento a 300°C sobre la resistencia de esta aleación después que ha sido:

1) Enfriado dentro del horno hasta la temperatura ambiente desde 900°C .

2) Templado hasta temperatura ambiente.

3) Enfriado al aire hasta temperatura ambiente.

23) Esquematice una curva TTT para un acero de 1,2% C. Identifique todas las fases.

24) Distintas muestras de un acero 1080 se calentaron a 900°C por una hora. Luego diferentes muestras fueron sometidas a los siguientes tratamientos térmicos:

a) Tres muestras son templadas a 650°C , mantenidas por uno, diez y mil segundos respectivamente y templadas a temperatura ambiente.

b) Tres muestras son templadas a 300°C , mantenidas por 100, 1000 y 10.000 segundos respectivamente y templadas hasta temperatura ambiente.

c) Una muestra es templada hasta temperatura ambiente, recalentada a 650°C y mantenida por 10 horas y luego templada a temperatura ambiente.

Dibuje las microestructuras de cada uno de estos tratamientos térmicos.

25) El porcentaje de perlita formado durante la descomposición isotérmica de la austenita para un tiempo t a la temperatura correspondiente a la nariz de la curva TTT (423°C) es:

$$\frac{\log t - \log t_{ps}}{\log t_{pf} - \log t_{ps}}$$

Donde: T_{ps} = tiempo en el cual la perlita comienza a formarse.

T_{pf} = tiempo en el cual la estructura es 100% perlita.

Suponga, por simplicidad, que la forma y posición de la curva debajo de enfriamiento continuo es la misma que para la transformación isotérmica. Las experiencias indican que una velocidad de 50°C/s es requerida para formar una estructura completamente martensítica en una aleación enfriada desde los 723°C hasta temperatura ambiente. La U.T.S. de la martensita es 300 Ksi. Ha sido también demostrado que cuando una aleación es templada desde los 723°C hasta los 423°C, mantenida por un tiempo de 60 s, y luego templada hasta temperatura ambiente, la U.T.S. es igual a 190 Ksi.

¿Cuál es la U.T.S. de una aleación que es templada desde 723°C hasta 423°C, mantenida por 200 s y templada hasta temperatura ambiente?.

26) Se observa que la templabilidad de un acero al carbono eutectoide (0.8% C) depende del tamaño de grano austenítico primario, con un incremento de la templabilidad para mayores tamaños de grano. Dé una explicación de este efecto.

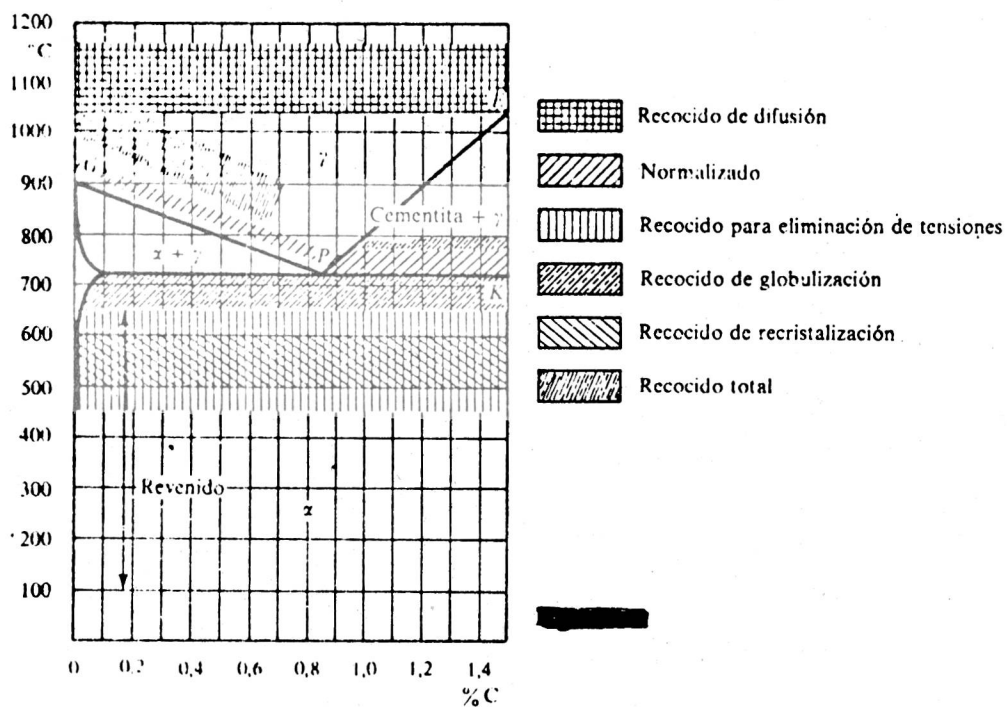


FIGURA 1

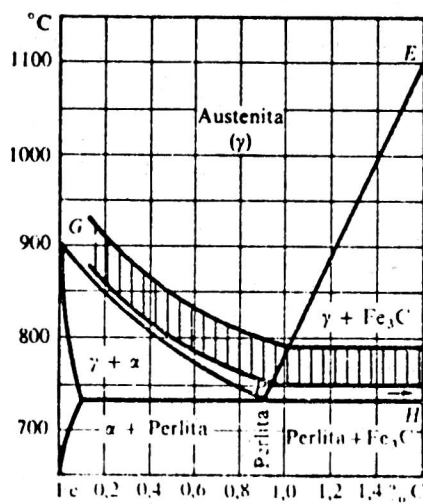


FIGURA 2

DIAGRAMA PRÁCTICO DE EQUILIBRIO Fe-C

Carbono en % de átomos

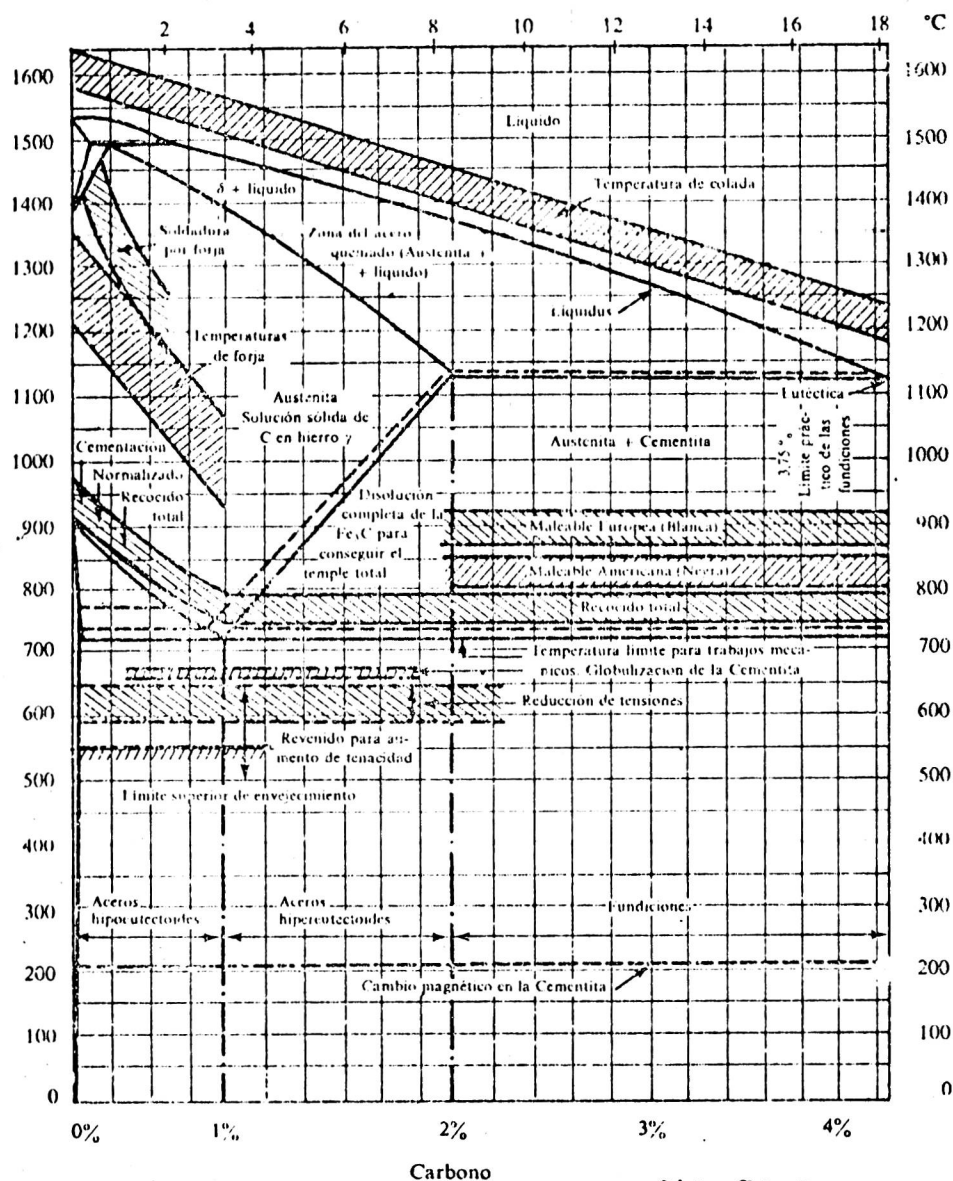


FIGURA 3

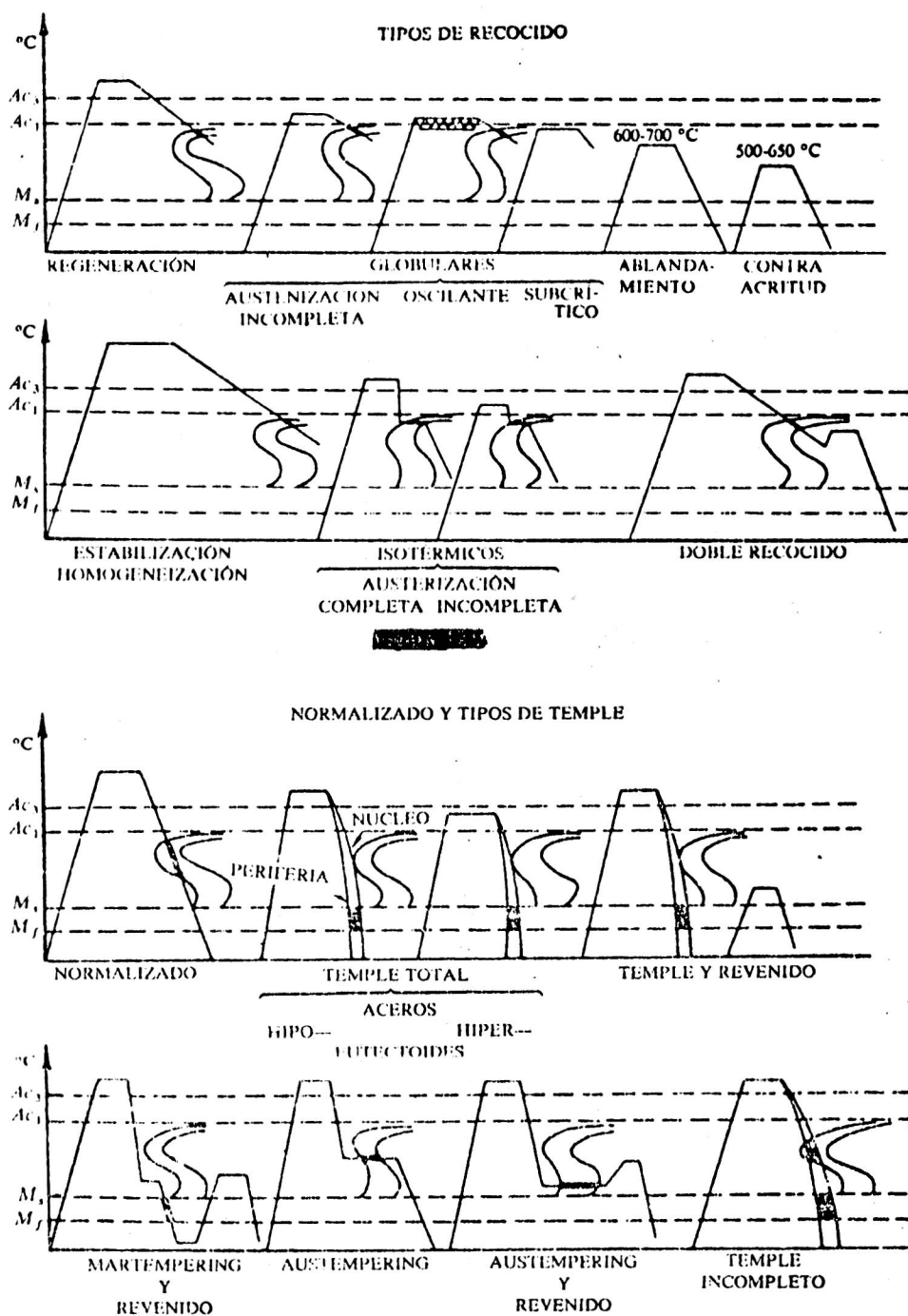
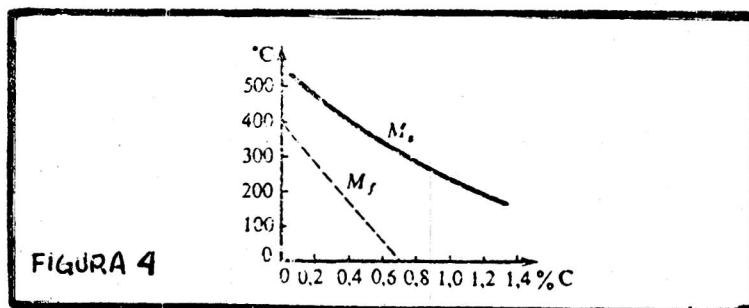
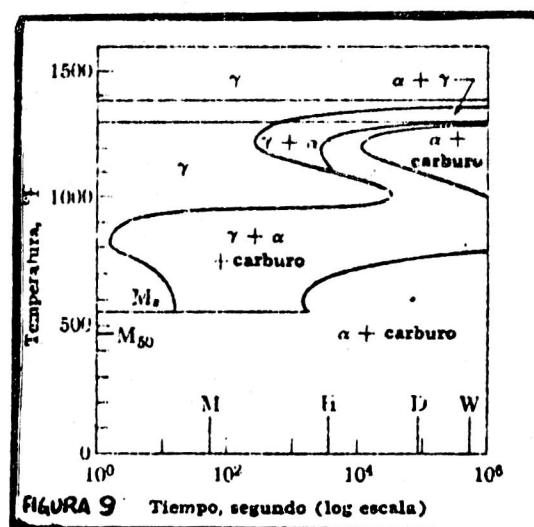
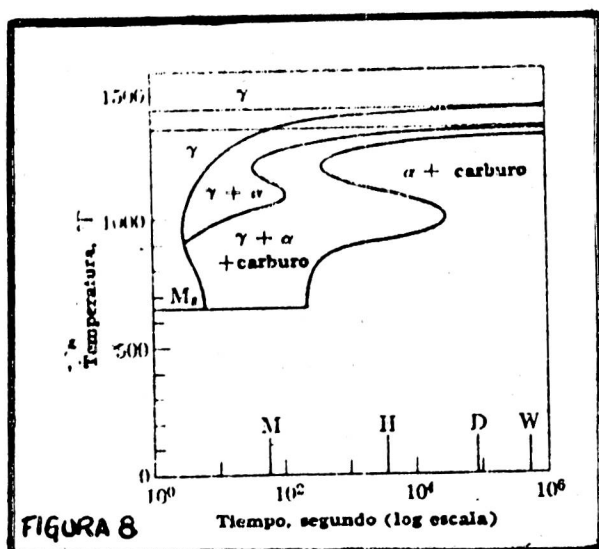
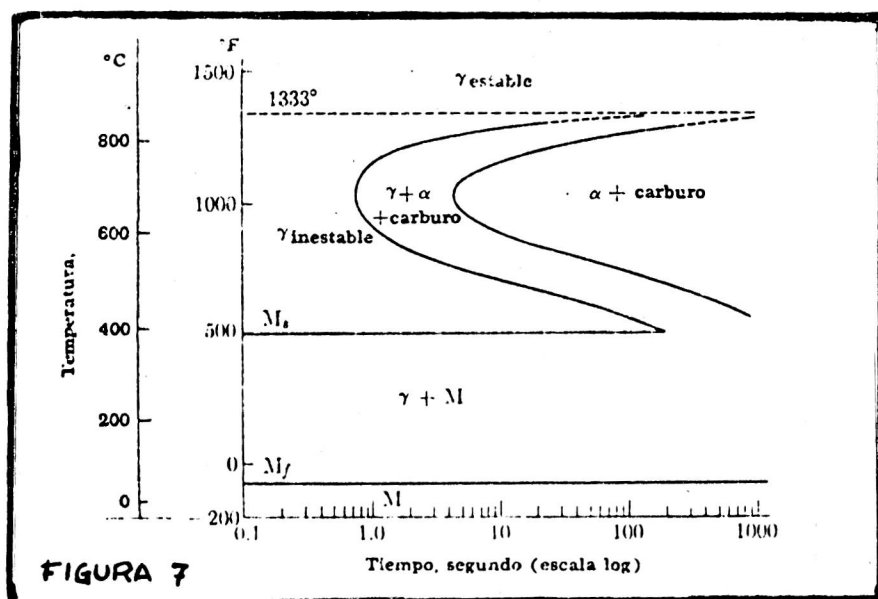
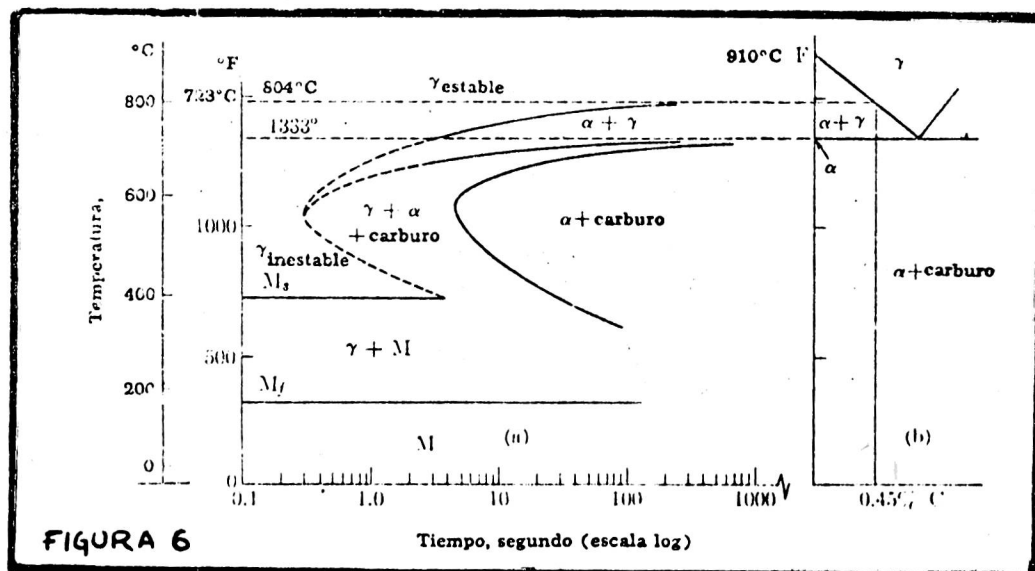


FIGURA 5



ENSAYO JOMINY

CURSO DE ACEROS

METODO PARA DETERMINAR LA TEMPLABILIDAD EN ACEROS

INTRODUCCION:

El método usual para seleccionar aceros está basado en la composición química. Esto permite una considerable variación en el contenido de carbono y elementos aleantes en el acero; por ejemplo un AISI 4340 posee el siguiente rango de composiciones: 0,38 - 0,43% C, 0,60-0,80% Mn, 0,2 - 0,35% Si, 1,65 - 2,00% Ni, 0,70 - 0,90% Cr, 0,2 - 0,3% Mo.

Luego esta variación en la composición química dentro de un grado particular causa una variación en la velocidad crítica de enfriamiento y provoca en consecuencia una variación en la respuesta del acero al tratamiento térmico.

Puesto que la resistencia es el factor primordial en diseño, a menos que se deseen propiedades especiales, parece mas económico basar la especificación del material sobre la respuesta al tratamiento térmico (templabilidad) mas que en la composición química.

Por lo tanto es necesario contar con un ensayo que pueda predecir la templabilidad de un acero. El más utilizado es el Ensayo "JOMINY".

Este ensayo fue descrito por primera vez por V.V.E. JOMINY en un trabajo sobre "A Hardenability Test For Carburizing Steel" publicado por la A.S.M. en 1938, es un método sencillo que permite conocer con bastante rapidez ciertas propiedades de los aceros.

Los resultados que se obtienen de este ensayo tienen una gran dependencia de la velocidad crítica de temple del acero cuyo valor es reflejado en las curvas obtenidas en cada caso. Otras informaciones que nos suministra son:

1) Durezas máximas y mínimas que se obtienen de cada acero.

2) Como influyen los diferentes elementos de aleación sobre la velocidad crítica de temple.

3) Se puede medir la templabilidad y predecir los resultados a obtener templando en distintos medios (H_2O , aceite, etc), barras de diferentes espesores.

4) Se puede comparar los resultados con los diámetros críticos ideales calculados a partir de la composición química y el tamaño de grano de cada acero (Ver ASTM A 255-67).

En un ensayo muy empleado en aceros con menos de 0,6% de Carbono.

DESCRIPCION DEL ENSAYO:

Este ensayo consiste, simplemente, en temprar una probeta de una pulgada de diámetro y cuatro pulgadas de longitud (Fig. 1.), mediante un chorro de agua que se encuentra a temperatura ambiente y que enfría solamente la base inferior (Fig. 2.)

Se emplea para la fabricación de las probetas, barras de mas de 28 mm de diámetro con el objeto de eliminar, mediante el maquinado cualquier capa superficial decarburada que pudiese existir. Antes de realizar el mecanizado, se normaliza la probeta a una temperatura de $80^{\circ}C$ por encima del punto A_{C3} , con el objeto de regularizar las condiciones de ensayo.

Para el templado el calentamiento es realizado a una temperatura $60^{\circ}C$ por encima del punto A_{C3} , debiendo colocarse la probeta, para evitar decarburaciones u oxidaciones superficiales, con grafito, viruta de función o atmósfera controlada. El tiempo que debe mantenerse la probeta a la temperatura de temple oscila entre 30 a 40 minutos.

Posteriormente se debe colocar la probeta rapidamente (no más de 5 segundos) en el dispositivo de enfriamiento para evitar que descienda demasiado la temperatura. La probeta deberá mantenerse en contacto con un chorro de agua durante no menos de 10 minutos y luego se puede, sin que se modifiquen los resultados, enfriarla totalmente en agua o en aire. Mediante este me

todo se consiguen a lo largo de la probeta velocidades de enfriamiento entre 333 °C/seg a 2,2°C/seg.

Durante el ensayo la presión del agua de enfriamiento debe permanecer constante, para ello se utiliza un depósito con un nivel constante para obtener una altura de 2,5 pulgadas en el chorro de agua. La cara inferior de la probeta se encuentra a 1/2 pulgada del orificio de salida del agua (Figura 2).

Una vez terminada la experiencia se maquinan dos generatrices de la probeta situadas 180° una de la otra y se rebaja 0,015 pulgadas de profundidad. Hay que tratar de evitar durante la operación de rebaje que se caliente el acero por encima de 100°C. Para comprobar que las superficies no se han revenido durante la operación de rebaje se recomienda el siguiente procedimiento de ataque:

- | | | | | |
|-----|--------------|------------------|-----------|------------------|
| (1) | Usar 5.c.c. | HNO ₃ | + 95.c.c. | H ₂ O |
| (2) | Usar 50.c.c. | ClH | + 50.c.c. | H ₂ O |

-Atacar con solución (1) hasta que se ennegrezca la probeta.

-Lavar con agua caliente.

-Sumergir en solución (2) por 3 segundos.

-Lavar con agua caliente.

-Secar la probeta.

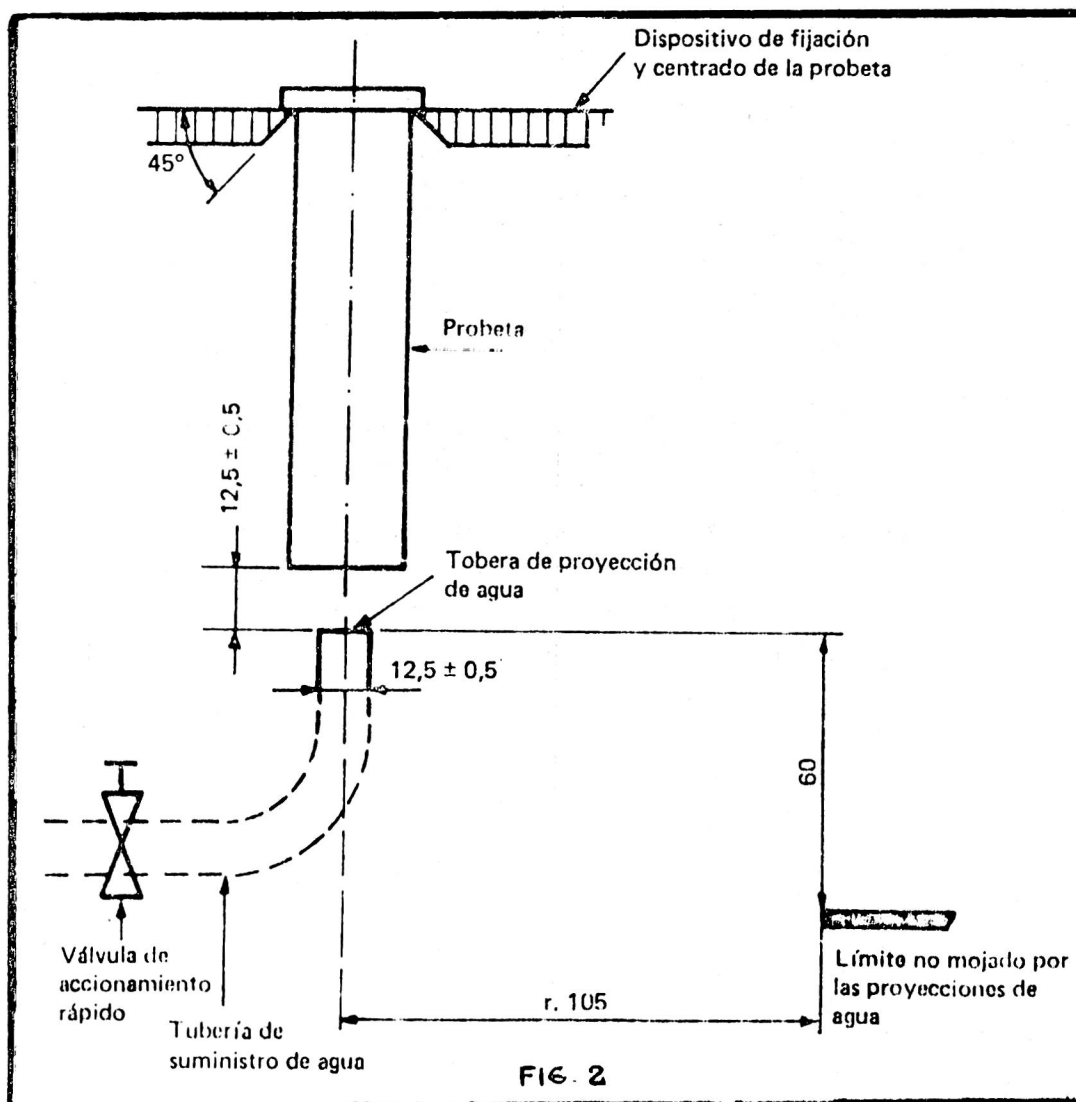
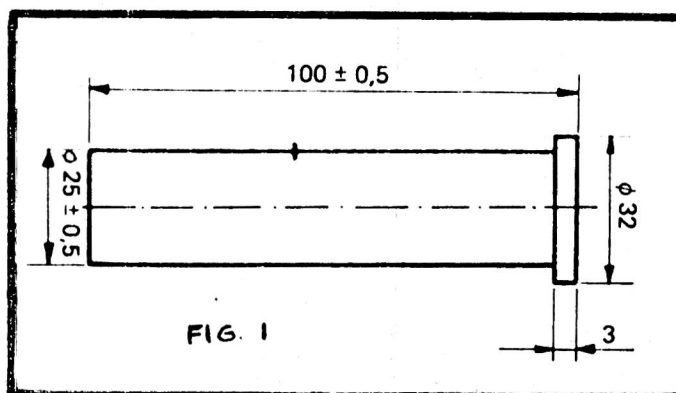
La presencia de zonas oscuras en la zona martensítica revela la zona revenida. Eliminar la evidencia del revenido.

TRABAJO EXPERIMENTAL:

1) Se toman valores de dureza HRc a lo largo de una de las generatrices cada 1/16 de pulgada a partir del extremo templado.

2) Con dichos valores se construye la curva de dureza HRc vs. distancia al extremo templado (Curva Jominy).

3) Mediante ataque metalográfico se ponen en evidencia las distintas estructuras que se obtienen con las distintas velocidades de enfriamiento.



PROBLEMA JOMINY

- 1) a) ¿Que entiende por severidad de temple?.
b) ¿Cómo estima que se determinan las H de distintos medios?.
c) ¿En base a qué variables elegiría H y de que manera varía H respecto de dichas variables?.
- 2) ¿Qué entiende por diámetro del redondo equivalente a la sección considerada?. Piénsese en formas regulares: cuadrada, rectangular, oval, poligonal, etc. Si las secciones fuesen irregulares cómo resolvería el problema?.
- 3) ¿Qué entiende por velocidad crítica de temple (V_c) y velocidad de enfriamiento (V_e). ¿De qué variables dependen?
- 4) Defina templabilidad. Considere las variables que influyen en su valor.
- 5) ¿Cómo evaluaría la templabilidad con las curvas U?. ¿Cuántas curvas necesitaría aproximadamente para evaluar la templabilidad de cada acero?.
- 6) ¿Qué entiende por D_{cr} y D_{ci} ? ¿Está de acuerdo en que el D_{ci} es una medida de la templabilidad?.
- 7) De la Figura 1 y 2 resuelva los siguientes problemas:
 - a) Un acero tiene un $D_{ci} = 1,5"$ (38 mm). Se desea conocer cuál es el mayor diámetro de ese acero que se puede temprar en aceite y en agua moderadamente agitados. Tabla 1.
 - b) Se tiene un redondeo de 27 mm de diámetro. La templabilidad (D_{ci}) del acero con que está contruido es de 1,5" (38 mm). ¿Cuál es la severidad mínima H del medio en que debo templantarlo para lograr el temple perfecto? Figura 1 y 2.
 - c) La sección resistente de una pieza tiene un diámetro de 27 mm. Dada la forma complicada del resto no puede templantarse en un medio de severidad mayor que $H = 0,4$. ¿Qué acero se debe elegir para su fabricación considerando que en el temple debe lograrse un 50% de martensita en el núcleo de la sección de la pieza.

- 8) La determinación teórica del D_{ci} se basa en que ha sido posible determinar la influencia que separadamente ejercen el C y los distintos elementos de aleación, como así también el tamaño de grano. Esta influencia se expresa bajo la forma de factores cuyo producto da directamente el D_{ci} .
Calcúle los D_{ci} para los aceros utilizados en la práctica.
(Figura 3,4, 5b).
- 9) Se desea conocer con que velocidad se enfría el punto medio del radio de un redondo de 35mm de diámetro cuando se lo sumerge en aceite con agitación acentuada y qué dureza se obtiene.
Figura 5a, y Tabla 2. Utilice el gráfico Jominy obtenido en la práctica.
- 10) ¿Qué dureza máxima pudo lograr en el centro de un redondo de 100mm del acero S.A.E. 4140 (Práctica). ¿Cuándo lo templo en aceite moderadamente agitado?. Figura 6 y 7 y Tabla 1.
- 11) Hallar el D_i del acero conocida su composición química y su curva Jominy. Utilice los datos obtenidos en la práctica.
(Figura 7, Jominy obtenido, Figura 8.).

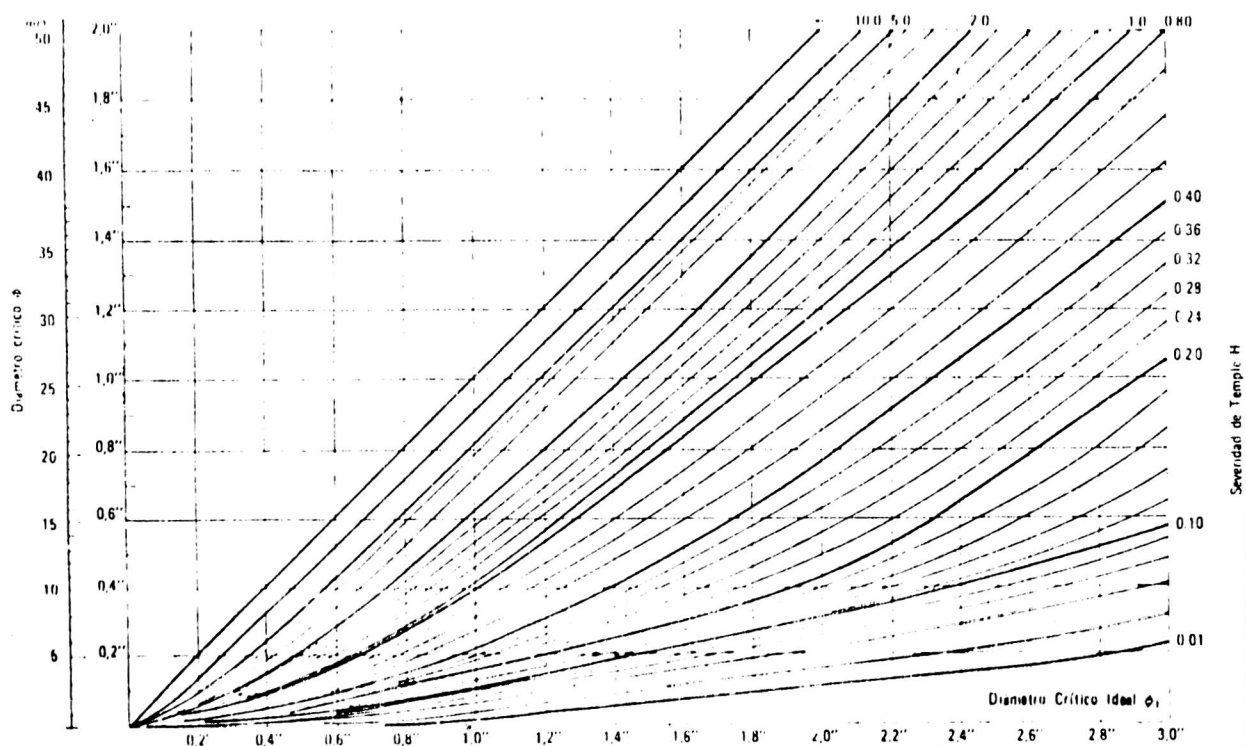


Fig. 26 a. - Curvas de equivalencia entre diámetros críticos ideales y diámetros críticos para diversas severidades de temple (Ref. 8).

FIGURA 1

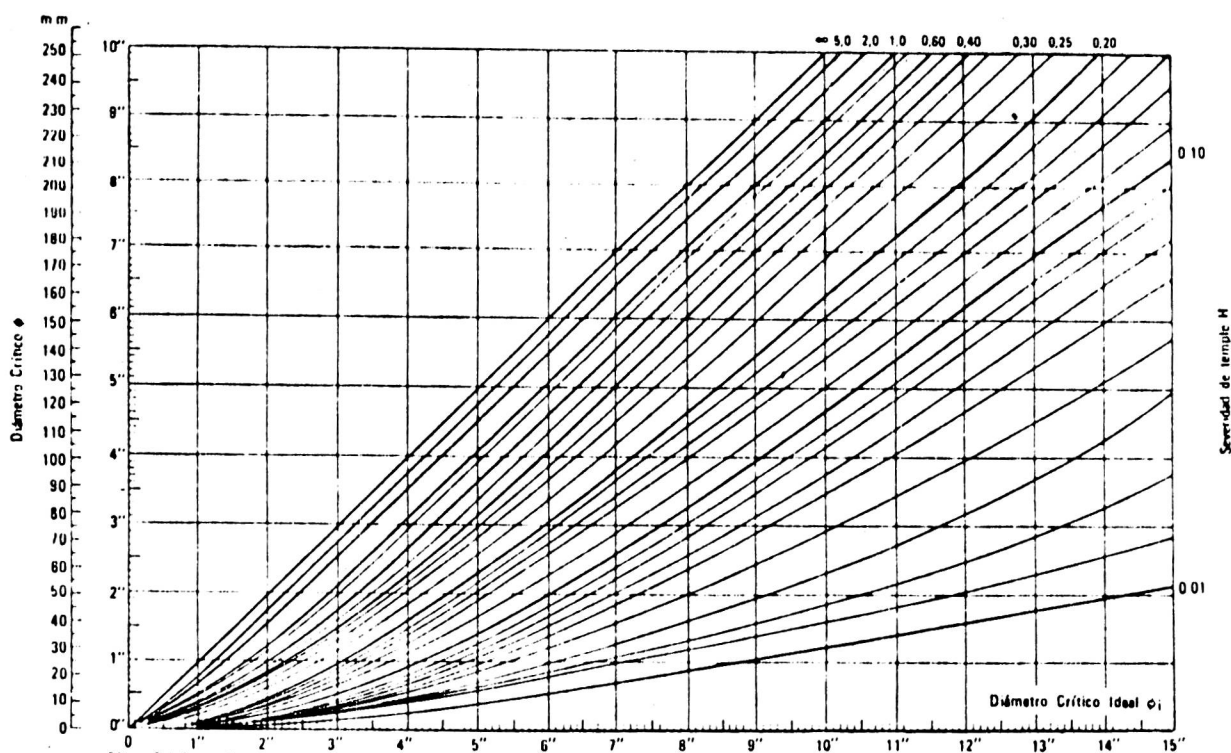


Fig. 26 b. - Curvas de equivalencia entre diámetros críticos ideales y diámetros críticos para diversas severidades de temple (Ref. 8).

FIGURA 2

TABLA 10: SEVERIDAD DE TEMPLE (II)

AGITACION	MEDIO			
	AIRE	ACEITE	AGUA	SALMUERA
Ninguna	0,02	0,25-0,30	0,9-1,0	2
Moderada	—	0,3-0,4	1,0-1,3	2 a 2,2
Accentuada	—	0,4-0,5	1,4-1,5	—
Fuerte	0,05	0,5-0,8	1,6-2,0	—
Violenta	—	0,8-1,1	4	5

TABLA XI: CALCULO TEORICO DEL DIAMETRO CRITICO IDEAL

A) Influencia del carbono y del tamaño de grano
(Características de la templabilidad "Base")

C	Tamaño de grano				C	Tamaño de grano			
	No. 5	No. 6	No. 7	No. 8		No. 5	No. 6	No. 7	No. 8
0.01	...	...	...	...	0.46	0.428	0.392	0.358	0.325
0.02	...	...	...	...	0.47	0.433	0.397	0.362	0.330
0.03	...	...	...	...	0.48	0.438	0.402	0.366	0.334
0.04	...	...	...	...	0.49	0.443	0.407	0.372	0.338
0.05	...	...	...	...	0.50	0.448	0.412	0.377	0.343
0.06	...	...	...	...	0.51	0.452	0.417	0.382	0.348
0.07	0.021	...	...	...	0.52	0.456	0.422	0.387	0.352
0.08	0.050	0.012	...	...	0.53	0.461	0.427	0.391	0.356
0.09	0.076	0.038	0.005	...	0.54	0.465	0.431	0.396	0.360
0.10	0.101	0.062	0.029	...	0.55	0.469	0.435	0.400	0.364
0.11	0.120	0.084	0.052	0.017	0.56	0.473	0.439	0.404	0.367
0.12	0.138	0.103	0.071	0.037	0.57	0.477	0.443	0.408	0.371
0.13	0.155	0.121	0.088	0.056	0.58	0.481	0.447	0.412	0.375
0.14	0.170	0.136	0.104	0.070	0.59	0.485	0.450	0.416	0.378
0.15	0.184	0.150	0.119	0.084	0.60	0.489	0.454	0.419	0.382
0.16	0.198	0.164	0.133	0.097	0.61	0.493	0.458	0.423	0.386
0.17	0.211	0.176	0.146	0.110	0.62	0.497	0.461	0.427	0.389
0.18	0.224	0.188	0.158	0.122	0.63	0.500	0.464	0.430	0.393
0.19	0.236	0.199	0.169	0.134	0.64	0.504	0.467	0.433	0.396
0.20	0.247	0.210	0.179	0.146	0.65	0.507	0.470	0.436	0.400
0.21	0.258	0.221	0.188	0.156	0.66	0.510	0.473	0.439	0.403
0.22	0.268	0.231	0.198	0.166	0.67	0.513	0.476	0.442	0.407
0.23	0.278	0.241	0.208	0.176	0.68	0.517	0.479	0.446	0.410
0.24	0.288	0.250	0.217	0.184	0.69	0.520	0.482	0.449	0.413
0.25	0.297	0.260	0.225	0.193	0.70	0.523	0.485	0.452	0.415
0.26	0.306	0.269	0.233	0.201	0.71	0.526	0.488	0.455	0.418
0.27	0.314	0.277	0.241	0.209	0.72	0.530	0.491	0.458	0.422
0.28	0.322	0.285	0.250	0.216	0.73	0.533	0.494	0.461	0.425
0.29	0.330	0.292	0.259	0.223	0.74	0.536	0.497	0.464	0.428
0.30	0.337	0.299	0.267	0.230	0.75	0.539	0.500	0.467	0.431
0.31	0.343	0.306	0.274	0.238	0.76	0.542	0.502	0.470	0.433
0.32	0.350	0.313	0.281	0.246	0.77	0.544	0.505	0.473	0.436
0.33	0.356	0.320	0.288	0.253	0.78	0.547	0.508	0.476	0.439
0.34	0.362	0.327	0.295	0.260	0.79	0.549	0.511	0.479	0.441
0.35	0.368	0.333	0.301	0.266	0.80	0.551	0.513	0.481	0.444
0.36	0.374	0.339	0.306	0.272	0.81	0.554	0.516	0.484	0.447
0.37	0.380	0.345	0.312	0.278	0.82	0.556	0.519	0.487	0.450
0.38	0.386	0.351	0.318	0.284	0.83	0.559	0.521	0.490	0.453
0.39	0.392	0.357	0.324	0.290	0.84	0.561	0.524	0.492	0.456
0.40	0.398	0.362	0.329	0.296	0.85	0.563	0.526	0.494	0.458
0.41	0.403	0.368	0.334	0.301	0.86	0.566	0.529	0.497	0.461
0.42	0.408	0.373	0.339	0.306	0.87	0.568	0.531	0.500	0.464
0.43	0.413	0.378	0.344	0.310	0.88	0.571	0.534	0.502	0.467
0.44	0.418	0.383	0.349	0.315	0.89	0.573	0.537	0.504	0.469
0.45	0.423	0.387	0.351	0.320	0.90	0.574	0.539	0.507	0.471

FIGURA 3

TABLE A. CALCULO FLUIDICO DEL DIAMETRO CRITICO IDEAL (Cont.)

B) Influencias del Mn, Si, Ni, Cr, Mo.

%	Elemento					%	Elemento				
	Mn	Si	Ni	C	Mo		Mn	Si	Ni	Cr	Mo
0.01	0.014	0.003	0.002	0.009	0.013	0.56	0.457	0.144	0.081	0.344	0.423
0.02	0.028	0.006	0.003	0.018	0.025	0.57	0.462	0.146	0.082	0.349	0.433
0.03	0.041	0.009	0.005	0.027	0.037	0.58	0.467	0.148	0.084	0.353	0.438
0.04	0.054	0.012	0.006	0.036	0.049	0.59	0.472	0.150	0.085	0.357	0.442
0.05	0.067	0.015	0.008	0.045	0.061	0.60	0.477	0.152	0.086	0.361	0.447
0.06	0.079	0.018	0.009	0.053	0.072	0.61	0.482	0.154	0.087	0.365	0.452
0.07	0.091	0.021	0.011	0.061	0.083	0.62	0.487	0.157	0.088	0.369	0.456
0.08	0.103	0.024	0.012	0.069	0.094	0.63	0.492	0.159	0.090	0.373	0.461
0.09	0.114	0.027	0.014	0.077	0.104	0.64	0.496	0.161	0.091	0.377	0.465
0.10	0.125	0.029	0.015	0.085	0.114	0.65	0.501	0.163	0.092	0.381	0.470
0.11	0.136	0.032	0.017	0.093	0.124	0.66	0.505	0.165	0.094	0.385	0.474
0.12	0.146	0.035	0.019	0.101	0.134	0.67	0.510	0.167	0.095	0.389	0.479
0.13	0.156	0.038	0.020	0.108	0.143	0.68	0.514	0.169	0.096	0.393	0.483
0.14	0.166	0.041	0.022	0.115	0.152	0.69	0.519	0.171	0.097	0.396	0.487
0.15	0.176	0.043	0.023	0.122	0.161	0.70	0.523	0.173	0.099	0.400	0.491
0.16	0.186	0.046	0.024	0.129	0.170	0.71	0.527	0.175	0.100	0.404	0.495
0.17	0.195	0.049	0.026	0.136	0.179	0.72	0.531	0.177	0.101	0.407	0.500
0.18	0.204	0.052	0.028	0.143	0.188	0.73	0.536	0.179	0.102	0.411	0.504
0.19	0.213	0.054	0.029	0.149	0.196	0.74	0.540	0.181	0.104	0.415	0.508
0.20	0.222	0.057	0.030	0.156	0.204	0.75	0.544	0.183	0.105	0.418	0.512
0.21	0.231	0.060	0.032	0.163	0.212	0.76	0.548	0.185	0.106	0.422	0.516
0.22	0.239	0.062	0.033	0.169	0.220	0.77	0.552	0.187	0.107	0.425	0.520
0.23	0.247	0.064	0.035	0.175	0.228	0.78	0.556	0.189	0.109	0.429	0.524
0.24	0.255	0.067	0.037	0.181	0.236	0.79	0.560	0.191	0.110	0.432	0.528
0.25	0.263	0.070	0.038	0.187	0.244	0.80	0.564	0.193	0.111	0.436	0.531
0.26	0.271	0.073	0.040	0.193	0.251	0.81	0.568	0.195	0.112	0.439	0.535
0.27	0.279	0.075	0.041	0.199	0.258	0.82	0.572	0.197	0.113	0.443	0.539
0.28	0.287	0.078	0.042	0.205	0.265	0.83	0.576	0.199	0.114	0.446	0.543
0.29	0.294	0.080	0.044	0.211	0.272	0.84	0.580	0.201	0.116	0.449	0.547
0.30	0.301	0.083	0.045	0.217	0.279	0.85	0.584	0.203	0.117	0.453	0.550
0.31	0.308	0.085	0.047	0.222	0.286	0.86	0.588	0.206	0.118	0.456	0.554
0.32	0.315	0.088	0.048	0.228	0.293	0.87	0.592	0.207	0.120	0.459	0.558
0.33	0.322	0.090	0.049	0.234	0.299	0.88	0.596	0.208	0.121	0.462	0.561
0.34	0.329	0.093	0.051	0.239	0.306	0.89	0.599	0.210	0.122	0.466	0.565
0.35	0.336	0.095	0.052	0.244	0.312	0.90	0.602	0.212	0.123	0.469	0.568
0.36	0.343	0.098	0.053	0.249	0.318	0.91	0.606	0.214	0.124	0.472	
0.37	0.349	0.100	0.055	0.255	0.324	0.92	0.609	0.216	0.125	0.475	
0.38	0.355	0.102	0.057	0.260	0.330	0.93	0.613	0.218	0.126	0.478	
0.39	0.362	0.105	0.058	0.265	0.336	0.94	0.616	0.220	0.128	0.481	
0.40	0.368	0.107	0.059	0.270	0.342	0.95	0.620	0.221	0.129	0.485	
0.41	0.374	0.110	0.061	0.275	0.348	0.96	0.623	0.223	0.130	0.488	
0.42	0.380	0.112	0.062	0.280	0.354	0.97	0.627	0.225	0.131	0.491	
0.43	0.386	0.114	0.063	0.285	0.360	0.98	0.630	0.227	0.132	0.494	
0.44	0.392	0.117	0.064	0.290	0.365	0.99	0.633	0.229	0.134	0.497	
0.45	0.398	0.119	0.066	0.295	0.371	1.00	0.637	0.230	0.135	0.500	
0.46	0.404	0.121	0.067	0.300	0.377	1.02	0.643	0.234	0.137	0.506	
0.47	0.409	0.124	0.069	0.304	0.382	1.04	0.650	0.238	0.139	0.511	
0.48	0.415	0.126	0.070	0.309	0.387	1.06	0.656	0.241	0.142	0.517	
0.49	0.420	0.128	0.072	0.313	0.393	1.08	0.662	0.245	0.144	0.522	
0.50	0.426	0.130	0.073	0.318	0.398	1.10	0.669	0.248	0.146	0.528	
0.51	0.431	0.133	0.074	0.323	0.403	1.12	0.675	0.251	0.148	0.534	
0.52	0.437	0.135	0.076	0.327	0.408	1.14	0.681	0.255	0.150	0.539	
0.53	0.442	0.137	0.077	0.331	0.413	1.16	0.687	0.258	0.153	0.545	
0.54	0.447	0.139	0.078	0.336	0.418	1.18	0.694	0.262	0.155	0.550	
0.55	0.452	0.141	0.079	0.340	0.423	1.20	0.702	0.265	0.157	0.555	

FIGURA 4

TABLA X: CALCULO TEORICO DEL DIAMETRO CRITICO IDEAL (Continuación)

B) Influencias del Mn, Si, Ni, Cr, Mo (altos porcentajes). C) Influencias del V, P, S, Al y Ti. D) Conversión de la suma de las características en D_I .

B) Influencia del Mn, Si, Ni, Cr. (Altos porcentajes)					C) Influencia del V, P, S, Al, Ti						D) Conversión de la suma de las características en D_I	
%	Mn	Si	Ni	Cr	%	V	P	S	Al	Ti	Suma (pulg)	D_I (pulg)
1.22	0.710	0.268	0.159	0.561	0.01	0.061	0.011	-0.003	0.006	-0.008	0.740	0.55
1.24	0.718	0.271	0.161	0.568	0.02	0.097	0.022	-0.006	0.012	-0.018	0.778	0.60
1.26	0.725	0.275	0.164	0.571	0.03	0.137	0.033	-0.009	0.017	-0.025	0.813	0.65
1.28	0.733	0.278	0.166	0.576	0.04	0.146	0.044	-0.011	0.022	-0.034	0.845	0.70
1.30	0.741	0.281	0.168	0.581	0.05	0.146	0.054	-0.014	0.028	-0.043	0.875	0.75
1.32	0.749	0.284	0.170	0.586	0.06	0.140	0.064	-0.018	0.033	-0.053	0.903	0.80
1.34	0.757	0.287	0.172	0.590	0.07	0.137	0.073	-0.020	0.039	-0.062	0.929	0.85
1.36	0.765	0.290	0.175	0.595	0.08	0.124	0.083	-0.024	0.044	-0.072	0.954	0.90
1.38	0.772	0.294	0.177	0.600	0.09	0.111	0.092	-0.027	0.049	-0.081	0.978	0.95
1.40	0.780	0.297	0.179	0.605	0.10	0.097	0.101	-0.032	0.054	-0.092	1.000	1.00
1.42	0.787	0.300	0.181	0.609	0.11	0.086	-	-	0.059	-0.099	1.021	1.05
1.44	0.794	0.303	0.183	0.614	0.12	0.072	-	-	0.064	-0.112	1.041	1.10
1.46	0.801	0.306	0.185	0.618	0.13	0.061	-	-	0.069	-0.123	1.060	1.15
1.48	0.808	0.309	0.187	0.623	0.14	0.037	-	-	0.074	-0.134	1.079	1.20
1.50	0.815	0.312	0.190	0.627	0.15	0.025	-	-	0.079	-0.146	1.097	1.25
1.52	0.822	0.315	0.193	0.632							1.114	1.30
1.54	0.828	0.318	0.196	0.636							1.130	1.35
1.56	0.835	0.321	0.198	0.641							1.146	1.40
1.58	0.841	0.323	0.200	0.645							1.161	1.45
1.60	0.848	0.326	0.203	0.650							1.176	1.50
1.62	0.854	0.329	0.205	0.653							1.190	1.55
1.64	0.860	0.332	0.208	0.657							1.204	1.60
1.66	0.866	0.335	0.210	0.661							1.217	1.65
1.68	0.872	0.338	0.212	0.665							1.230	1.70
1.70	0.878	0.340	0.215	0.670							1.243	1.75
1.72	0.884	0.343	0.217	0.673							1.256	1.80
1.74	0.890	0.346	0.219	-							1.267	1.85
1.76	0.896	0.349	0.222	-							1.279	1.90
1.78	0.902	0.351	0.225	-							1.290	1.95
1.80	0.908	0.354	0.228	-							1.301	2.00
1.82	0.914	0.357	0.231	-							1.312	2.05
1.84	0.920	0.359	0.234	-							1.322	2.10
1.86	0.925	0.362	0.237	-							1.332	2.15
1.88	0.930	0.365	0.240	-							1.342	2.20
1.90	0.936	0.367	0.243	-							1.352	2.25
1.92	0.941	0.370	0.245	-							1.362	2.30
1.94	0.946	0.373	0.246	-							1.371	2.35
1.96	0.951	0.375	0.247	-							1.380	2.40
1.98	0.955	0.378	0.248	-							1.389	2.45
2.00	0.960	0.381	0.250	-							1.398	2.50
2.10	-	-	0.262	-							1.407	2.55
2.20	-	-	0.275	-							1.415	2.60
2.30	-	-	0.288	-							1.423	2.65
2.40	-	-	0.303	-							1.431	2.70
2.50	-	-	0.318	-							1.439	2.75
2.60	-	-	0.333	-							1.447	2.80
2.70	-	-	0.351	-							1.455	2.85
2.80	-	-	0.369	-							1.462	2.90
2.90	-	-	0.387	-							1.470	2.95
3.00	-	-	0.405	-							1.477	3.00

Elemento	%	Características	Tabla
0.40 C		0.329	A
0.85 Mn		0.684	B
0.30 Si		0.083	B
0.55 Ni		0.079	B
0.50 Cr		0.318	B
0.25 Mo		0.244	B
0.010 P		0.011	C
0.030 S		-0.008	C
Suma		1.630	

En tabla D encontramos que dicha suma corresponde a un $D_I = 4.35$ pulg.

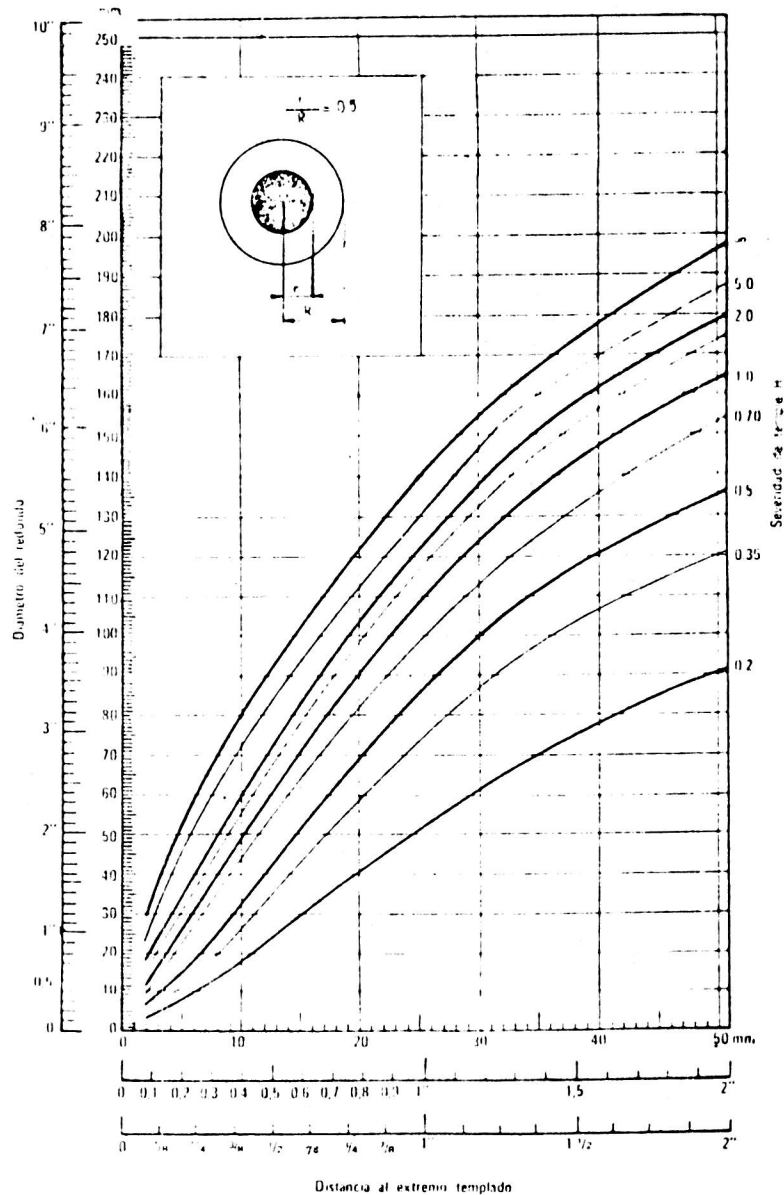
1.484	1.05	1.785	6.10
1.491	1.10	1.792	6.20
1.498	1.15	1.799	6.30
1.505	1.20	1.806	6.40
1.512	1.25	1.813	6.50
1.519	1.30	1.820	6.60
1.525	1.35	1.826	6.70
1.531	1.40	1.833	6.80
1.538	1.45	1.839	6.90
1.544	1.50	1.845	7.00

FIGURA 5 - b

TABLA 2

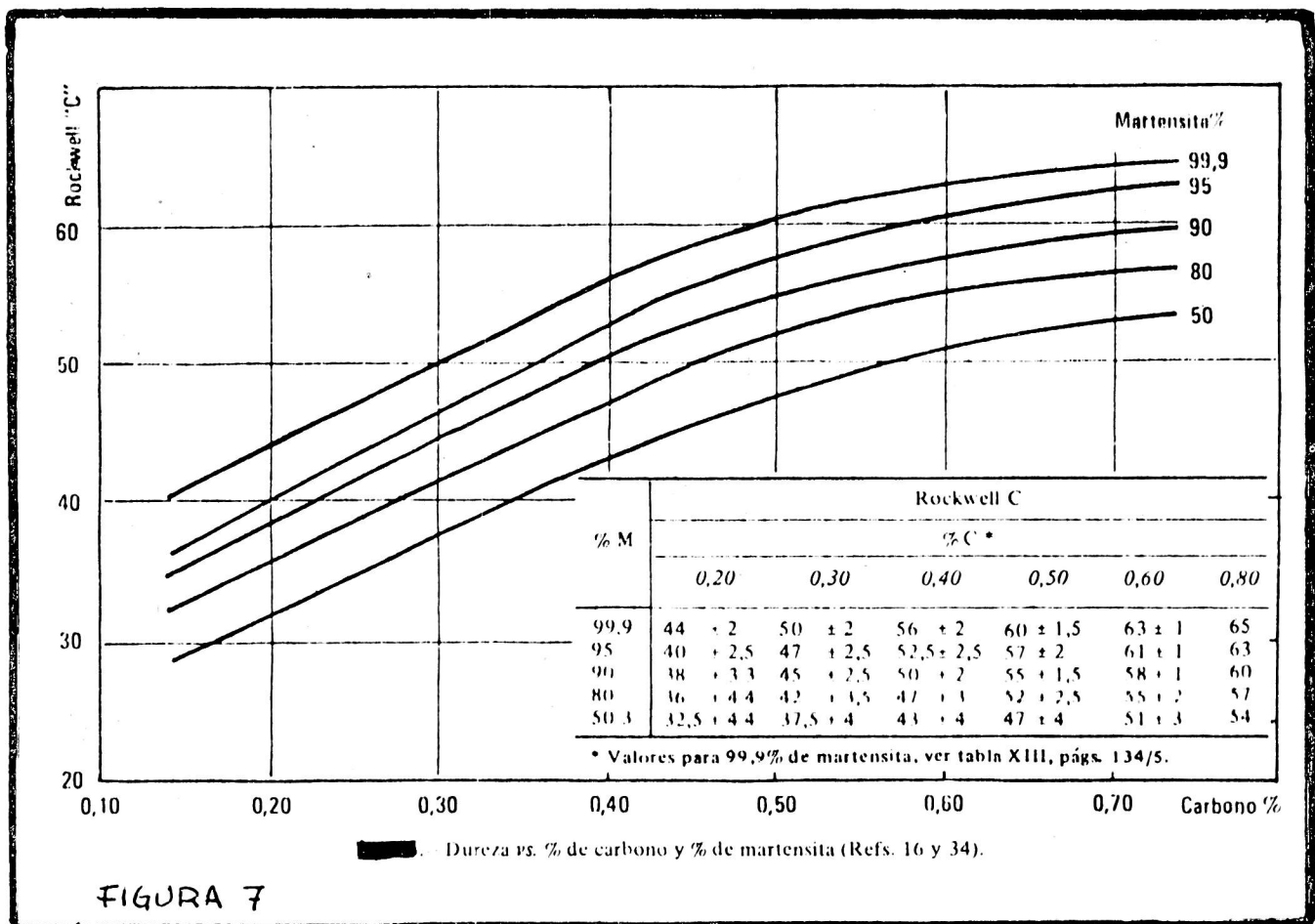
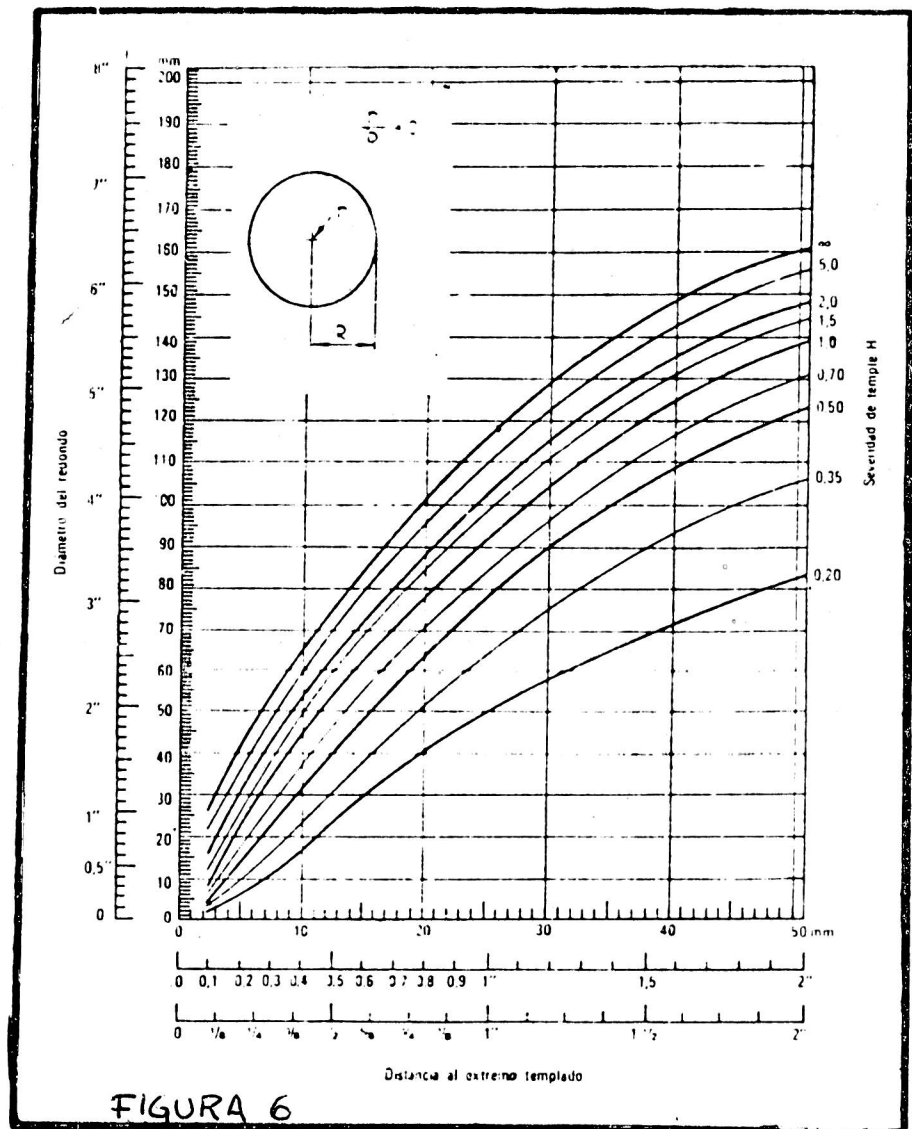
VELOCIDADES DE ENFRIAMIENTO EN EL ENSAYO
JOMINY A DISTINTAS DISTANCIAS DEL EXTREMO
TEMPLADO DE LA PROBETA NORMAL

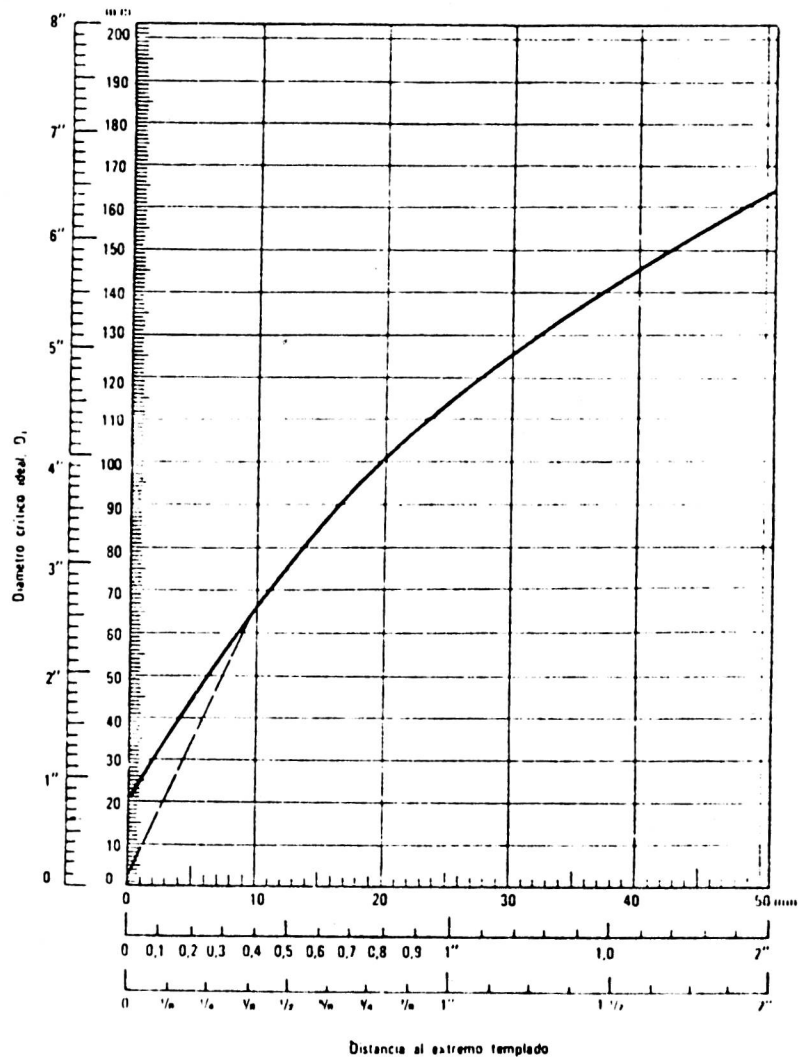
Distancia al extremo templado (pulgadas)	Velocidad de enfriamiento (°C/segundo a 704 °C)	Distancia al extremo templado (pulgadas)	Velocidad de enfriamiento (°C/segundo a 704 °C)
1/1	271,7	1 1/16	10,8
1/8	170,6	3/4	9,0
3/16	108,3	1 3/16	8,0
1/4	68,8	7/8	6,9
5/16	42,9	1 5/16	6,4
3/8	31,3	1	5,6
7/16	23,3	1 1/4	3,9
1/2	17,9	1 1/2	2,8
9/16	13,9	1 3/4	2,2
5/8	11,9	2	1,9



Curvas de Lamont para $r/R = 0.5$ (Ref. 8).

FIGURA 5-8





Curva de equivalencia entre diámetros críticos ideales y distancias Jominy. (Ref. 8).

FIGURA 8