

VACIO: Una noción a través del tiempo



1) Aristóteles, a través de ojos medievales (Catedral de Chartres, siglo XIII)

METALURGIA MODERNA

AÑO XIII — EDICION N° 29

La civilización occidental, que ha brotado de manantiales griegos, se basa en una tradición filosófica y científica que empezó con Tales de Mileto en el siglo VI a. J.C. La noción predominante es el "logos", término que connota entre varias cosas, "palabra" y "medida", de donde nace la estrecha relación entre el "discurso filosófico" y la "doctrina científica".

De esta relación se originan las teorías sobre constitución de la materia y con el pitagorismo aparece un rasgo que es pasado por alto o mal comprendido por muchos de los primeros pensadores: la noción de vacío. Sin esta noción es imposible toda explicación satisfactoria del movimiento.

Leucipo introduce la idea de innumerables partículas constituyentes. Estas partículas eran los "átomos", es decir, cosas que no se pueden dividir y que se están moviendo constantemente en el espacio vacío.

En oposición a los atomistas, Aristóteles sostiene que no existe el vacío. En pro de este concepto, expone cierto número de argumentos, todos los cuales son erróneos. El más interesante de ellos es una reducción al absurdo, partiendo del hecho de que en un medio la velocidad de los cuerpos varía de acuerdo con la densidad del medio y con el peso del cuerpo. De aquí concluye, primero, que en el vacío los cuerpos se moverían con velocidad infinita, lo cual es absurdo, pues todo movimiento requiere cierto tiempo, y después, que un cuerpo pesado se movería más rápidamente que otro más liviano, pero en el vacío no hay razón para que esto sea así. Sin embargo, las conclusiones no siguen a las premisas. Del hecho de que en un medio más enrarecido un cuerpo se mueve más de prisa, no se sigue necesariamente que en el vacío se moverá con velocidad infinita. En cuanto al otro aspecto, la observación demuestra que en un espacio en donde se hecho el vacío un cuerpo liviano cae con la misma velocidad que otro pesado. Los erróneos conceptos aristotélicos concernientes al vacío no fueron subsanados hasta unos dos mil años más tarde. De todos modos, justo es señalar que, incluso en los tiempos modernos, los científicos se han sentido inquietos ante la idea del vacío. Y lo han llenado de una

ARNOLDO LEYT

singular materia, como el éter, o, más recientemente, con distribuciones de energía.

La Edad Media prefiere adoptar, sobre este tema como sobre otros, el punto de vista de su maestro de pensamiento, Aristóteles, y decreta con él que el vacío no puede existir. No se tiene por prueba más que el hecho que “Non matur vacuum in rerum natura” (La naturaleza tiene horror al vacío).

Así pasan los siglos y todo el mundo estaba satisfecho, hasta cierto día de 1640 — fecha histórica — en el que los poceros de Florencia constatan que el agua se niega a subir por arriba de los 32 pies (un poco más de 10 m). No se entiende más nada. Planteado el enigma a Galileo Galilei, éste después de largas reflexiones, piensa haber encontrado la solución, la que expone el mismo año en sus “Diálogos”. “... una cuerda atada por su extremo superior se puede romper bajo su propio peso si ella es lo suficientemente larga. Debe suceder lo mismo con una “cuerda de agua”; la vena líquida colgada al pistón está obligada a romperse cuando por su altura llega a ser demasiado pesada...”.

Pero Evangelista Torricelli, discípulo de Galileo, no acepta la explicación de su maestro y en su carta a Michelangelo Ricci pone en evidencia la verdadera causa de aquel fenómeno. La experiencia llamada desde aquel entonces “de Torricelli”, fue difundida por el mundo por el Padre Mersenne, lo que para la época significaba un acto valeroso. Ella es discutida con pasión, en particular por Descartes, cuyas dudas sobre el horror al vacío habían comenzado a manifestarse. Descartes habla de ello a su joven amigo Blaise Pascal, quien el 19 de septiembre de 1648, completa la experiencia anterior transportando un tubo de Torricelli desde el pie a la cima del Puy-de-Dôme y demostrando que el descenso del nivel del mercurio es función progresiva de la altura.

Pascal puede pues concluir: “... la evidencia de las experiencias me fuerza a abandonar las opiniones que el respeto a la antigüedad me había impuesto. También, yo no las he abandonado sino poco a poco, y no me he alejado sino gradualmente, pues, del primero de

DISCORSI E DIMOSTRAZIONI

MATEMATICHE,
intorno à due nuove scienze

Attenenti alla
MECANICA & i MOVIMENTI LOCALI;
del Signor

GALILEO GALILEI LINCEO,
Filosofo e Matematico primario del Serenissimo
Grand Duca di Toscana.

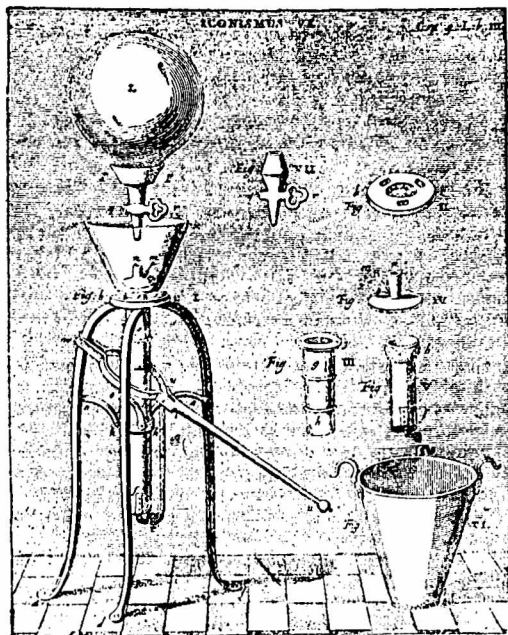
Con una Appendice del centro di gravità d'alcuni Solidi.



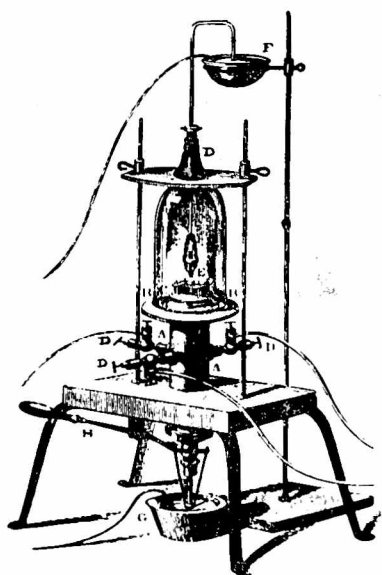
IN LEIDA,
Appresso gli Elsevirii. M. D. C. xxxviii.



3) Galileo, anciano y ciego, con sus discípulos, Torricelli y Viviani, fresco de L. Sabatelli, Florencia. Tribuna de Galileo (Scala).



4) Bomba neumática de Otto de Guericke.



5) Horno por arco de Robert Hare.

estos tres principios, que la naturaleza tiene por el vacío un horror invencible, he pasado a este segundo, que ella le tiene horror, pero no invencible; y de allí he llegado por fin a la creencia del tercero, que la naturaleza no tiene ningún horror por el vacío...". Los numerosos partidarios del horror al vacío tratan entonces de salvar a Aristóteles, y el mismo Pascal, un poco perturbado, escribió: "... que una materia imperceptible, extraña y desconocida totalmente llena el espacio, vacío en apariencia...".

Sea lo que sea y cuál fuese su naturaleza, la prueba que el vacío existía estaba hecha y las primeras aplicaciones de su descubrimiento que podemos llamar pasivas, fueron: el barómetro, los manómetros, la determinación del peso del aire y su elasticidad, la bomba neumática de Otto de Guericke y su célebre experiencia de Magdeburgo en 1654, anotándose al activo del siglo XVII, la primera ley del comportamiento de los gases ($p \times v = \text{cte.}$) debida al inglés Boyle y al francés Mariotte.

Durante el siglo XVIII se realizan estudios que combinan el vacío con la electricidad y que preparan el terreno para que Newton, Bernoulli y Lomonosov elaboren un tímido esbozo de la teoría cinética.

Un poco más tarde, el movimiento de investigación va a conducir al reconocimiento de la pluralidad de lo que en la época se llamaba todavía "los aires": Black encuentra el gas carbónico (1775); Cavendish, el hidrógeno (1756); Lavoisier, el nitrógeno y el oxígeno (1775).

En la primera parte del siglo XIX se prosiguen estos estudios mitad teóricos, mitad experimentales. La luz, la electricidad y el calor constituyen una trilogía alrededor de la que gravitan los esfuerzos de los físicos. En 1802 Gay-Lussac define la *ley de los gases perfectos*. Por su lado, entre 1811 y 1814, Avogadro y Ampère enuncian la hipótesis sobre el número de moléculas contenido en un volumen de cualquier gas. Al mismo tiempo, Berthollet pone en evidencia la difusión de un gas en otro. Faraday, hacia 1838, había empezado el estudio científico de la descarga eléctrica en los gases, pero la dificultad para obtener presiones bastante bajas y corrientes eléctricas de muy altas tensiones y de gran potencia, lo detienen en su empeño. La invención de la bomba de Geissler (de pistón de mercurio) en 1850 y de la bobina de Ruhmkorff permiten salvar esos inconvenientes.

Robert Hare describe en 1839 ante la American Philosophical Society el primer horno por arco, cuyo aspecto guarda gran similitud con los hornos por arco bajo atmósfera controlada que se usan hoy día. En 1850, el inglés Church protege con la patente (nº 5084)

la "Producción de una fundición metálica densa, libre de cavidades, por la aplicación de vacío".

Maxwell en 1859 establece la *teoría cinética de los gases*, la que es comprobada por el inglés Thomas Graham, mediante experiencias de difusión. Graham fue también quizás, la primera persona que realizando experimentos cuantitativos introduce la tecnología del vacío en la investigación metalúrgica. Dewar, otro físico inglés, estudia los fenómenos de adsorción y la liquefacción de muchos gases; será asimismo, uno de los pioneros de lo que hoy llamamos "criobombeo".

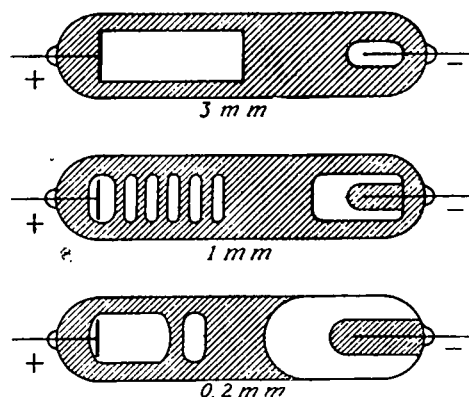
Los alemanes Plücker y Hittorf estudiaron la descarga a muy bajas presiones y constataron la existencia de "rayos catódicos" cuyas propiedades eléctricas, térmicas y aún mecánicas estudió detalladamente Crookes en 1879.

Paralelamente a estos estudios se realizan aplicaciones industriales de la técnica del vacío: la correspondencia neumática, la máquina de Carré para fabricar hielo haciendo vacío por arriba de un recipiente conteniendo agua y fundamentalmente la puesta a punto de las lámparas de incandescencia hacia 1880 por el americano Edison, quien con gran visión comercial crea la primera de las compañías de distribución de electricidad.

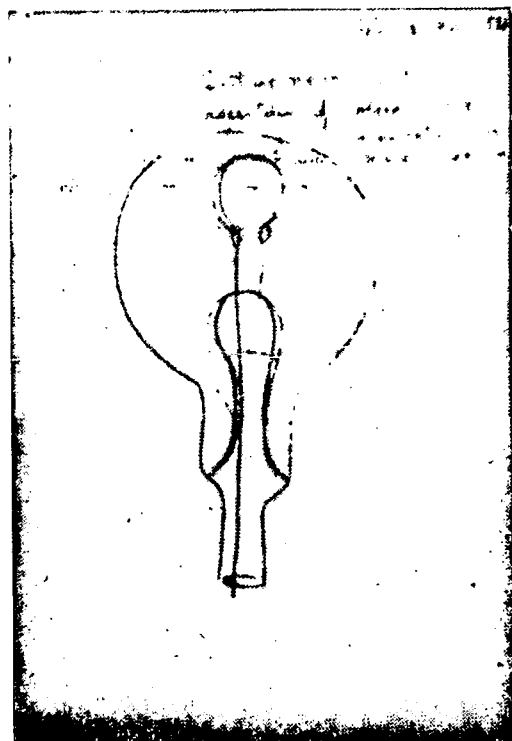
Debe mencionarse que en la misma época, Parsons (1874), Aitken (1879) y Jensen (1882) trazan los primeros proyectos para eliminar la porosidad y la fragilidad en caliente del acero Bessemer sometiendo al mismo a un tratamiento de vacío; estos trabajos no prosperaron por la poca capacidad de los equipos de bombeo disponibles (en 1855, Bessemer había sugerido desgasar totalmente la cuchara de colada para eliminar estos defectos). Cabe acotar que actualmente se dispone de equipos capaces de tratar en vacío de 200 a 300 toneladas de acero. También en 1882, Aitken hizo notar la dificultad por él observada de la expulsión de las gases de un baño profundo de metal fundido y sugirió la técnica hoy conocida como desgasificación en chorro.

La trascendental invención de Edison hace que a partir de esta época, un objeto destinado al gran público e implicando de una manera predominante la utilización de la técnica del vacío en su fabricación, sea puesto en el mercado, dando nacimiento a dos tipos de industrias:

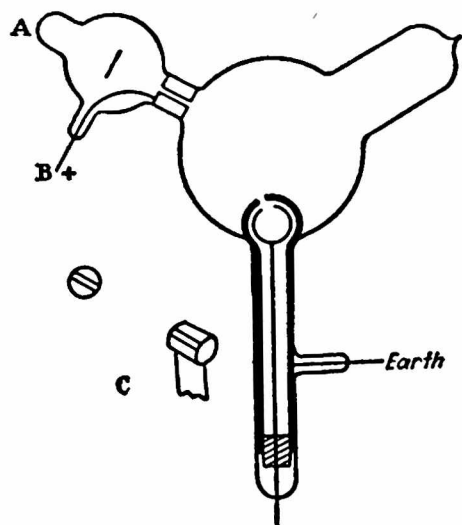
- Una, de bienes de consumo: las fábricas de lámparas de incandescencia;
- Otra, de bienes de equipamiento: las fábricas de bombas de vacío y de aparatos de medida del vacío.



6) Tubo de Geisler.



7) Página de anotador de Edison con un esquema de su ensayo sobre iluminación eléctrica.



8) Dispositivo utilizado por J. J. Thomson en sus trabajos sobre los rayos catódicos.



9) Radiografía efectuada por Röntgen de la mano de su esposa. Fue sin duda el más extraño regalo de Navidad que un marido jamás hiciera a su mujer.

Durante una veintena de años, la industria de las lámparas de incandescencia se desarrolló utilizando como equipos de base, bombas o trompas de mercurio líquido. Como filamento más aceptable se utilizó el tantalio, el que fue obtenido en forma dúctil por la fábrica Siemens al fundirlo por arco en vacío; el proceso de purificación se debió a von Bolton y el proyecto del horno a Simpson.

Pero lo más notable de la técnica del vacío fue el descubrimiento del electrón hacia fines del siglo XIX.

Edison constata en 1883 que los metales calentados emitían electricidad negativa. Cuatro años más tarde, Hertz demostró que esta emisión se producía cuando se iluminaba un metal con luz ultravioleta y en 1892, constató que esta emisión atravesaba hojas metálicas delgadas. Se trataba pues de corpúsculos, a los que se llamó *electrones* y cuya carga y masa fueron medidas hacia 1895 por el inglés J. J. Thomson y el francés J. Perrin.

Casi al mismo tiempo, el alemán Roentgen trabajando con un tubo de Crookes, verifica que electrones que chocan contra un metal con gran velocidad producen a su vez la emisión de una radiación penetrante: eran los rayos X. El segundo objeto industrial cuya realización dependía de la técnica del vacío hacía su aparición: el tubo de rayos X, cuyas aplicaciones médicas y quirúrgicas se desarrollarían rápidamente.

Se sabe los servicios que el conocimiento y el dominio del electrón han rendido a la radio primero, después a las telecomunicaciones y más generalmente todavía, gracias a la electrónica, a todos los dominios científicos e industriales. Citemos solamente dos fechas importantes: la invención en 1904, por el inglés Fleming, del *diodo detector*; y sobre todo, la del *triodo* por el americano Lee de Forest, en 1907.

Los tubos electrónicos formaron con las lámparas de incandescencia y los tubos de rayos X la tercera categoría de productos industriales que necesitaban de la técnica del vacío para su elaboración.

En 1904, General Electric desarrolló el horno de Arsen, que poseyendo un calefactor de grafito operaba a presiones de una fracción de torr. Este horno sirvió para que en 1907 se purificaran el magnesio y el cadmio, se midieran los puntos de fusión de cierto número de óxidos refractarios y se intentara la extracción de metales de minerales difíciles. El arsénico fue parcialmente separado de la esmaltita por tratamiento térmico en vacío por encima de 1500°C y el antimonio se extrajo de la estibnita por una serie más compleja de tratamientos. El platino, el oro y la plata podían separarse por destilación en vacío.

El arte de hacer el vacío no ha cesado de progresar

desde el comienzo del siglo **xx**. En 1905, el alemán Gaede inventó la bomba de paletas y establece el principio de la bomba de difusión; pero cuya forma actual se la debemos al americano Langmuir, el hombre de las mil patentes, del que utilizamos constantemente los descubrimientos sobre el desgasado de los metales y del vidrio, sobre el mejoramiento de las lámparas de iluminación por introducción de una atmósfera gaseosa, sobre las propiedades emisivas de los metales (particularmente del tungsteno).

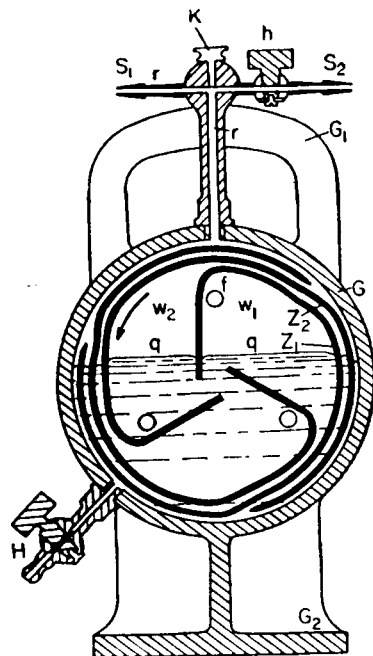
El panorama de la industria del vacío en medio de los diez años que siguieron a la primera guerra mundial, es el siguiente:

Del lado de los usuarios: Una industria de lámparas de incandescencia en expansión con la electrificación progresiva. Una industria de tubos de rayos X con el invento de Coolidge en 1916 del tubo de rayos X de cátodo caliente y de alto vacío, que ofrece a su clientela grandes posibilidades en radioscopia, en radiografía y en radioterapia, y se encontraba por ello en fase de crecimiento continuo. Por fin, una industria de tubos electrónicos, creados por las necesidades de la primera guerra mundial, se encontraba potentemente estimulada por el advenimiento de la radiodifusión.

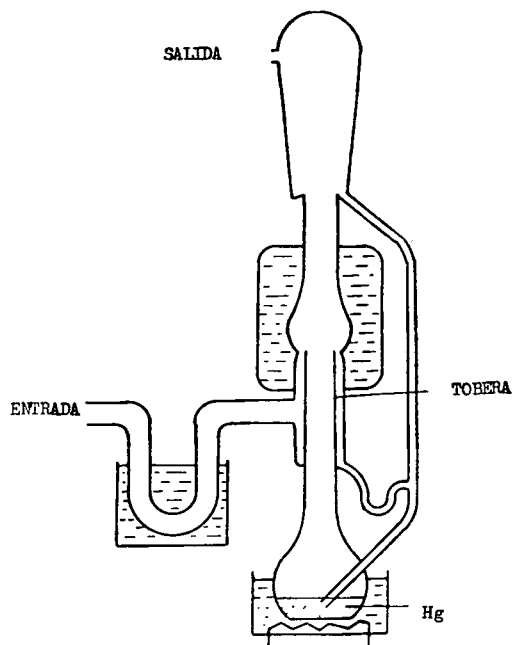
Del lado de los materiales de vacío: Se estaba en presencia de una gama suficientemente completa de bombas rotativas de aceite llamadas preliminares, bombas moleculares de Gaede perfeccionadas por Holweck en 1920, bombas llamadas de condensación o de difusión, medidores del vacío, basados sobre un gran número de principios físicos diferentes: una familia de medidores térmicos es creada por el italiano Pirani (1906); el danés Knudsen pone a punto un manómetro absoluto (1910) y el americano Buckley el triodo de ionización (1916).

Sin embargo, debieron pasar varias décadas desde la aparición del horno de Lake, para poder ver una realización que satisficiera, en materia de fusión, los requerimientos de la industria. Al no resultar apropiados para fundir en gran escala hornos calentados por resistencia eléctrica, la firma alemana Heraeus construye en 1921 un horno de 300 kg de capacidad y de baja frecuencia. Siete años más tarde se encontraban en el mercado hornos de 4000 kg capaces de colar lingotes de dos toneladas.

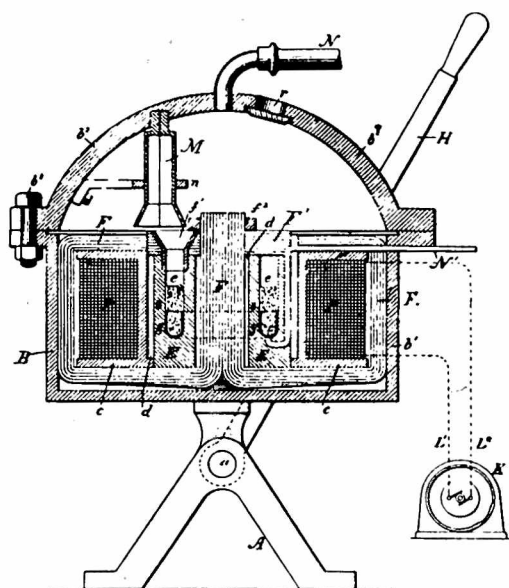
Hacia 1930, el panorama técnico no ha cambiado esencialmente, pero todo se había agrandado. De todas maneras, dos nuevos dominios se habían manifestado: a) los rectificadores de corrientes industriales de vapor de mercurio en cuba metálica con grupo de bombeo asociado; b) se había abierto el dominio de la instrumentación científica.



10) Sección de una bomba rotatoria de Mercurio (bomba de Gaede).



11) Bomba de condensación de Langmuir.



12) El primer horno de inducción bajo vacío registrado (E. A. Colbey, 1890).

El estudio de la estructura de la materia por difracción de rayos X suscita la comercialización de analizadores con el tubo generador de rayos X desmontable, lo que involucraba la asociación permanente de un grupo de bombeo; a esto, le seguirán los equipos para la difracción de electrones.

Paralelamente en 1928, Hevesy y Bronsted habían separado isótopos de mercurio por destilación llamada molecular, es decir, efectuada bajo alto vacío, abriendo así la vía a las futuras aplicaciones de la destilación molecular a la separación industrial.

En 1929, un físico inglés C. R. Burch de la Metropolitan Vickers, obtiene por destilación de aceites minerales, fracciones con tensión de vapor inferior a 10^{-6} mm Hg susceptibles de ser utilizadas como fluido motor de una bomba de difusión. Este logro permite realizar tubos de emisión con acoplamiento permanente de grupos de bombeo y en 1939, Francia pone en servicio la estación de radiodifusión de ondas cortas más potente del mundo.

Pese a la calidad de sus productos, la fusión por arco en vacío, no se utilizó de nuevo hasta 1940. En esta fecha, Kroll obtiene los primeros lingotes de titanio, en un horno de arco refrigerado por agua, método que vuelve a ser empleado por Parke y Ham en 1943, para obtener molibdeno.

Para esta fecha, el estado de la técnica del vacío era el siguiente: por una parte, un gran número de industrias nacientes tales como la metalurgia bajo vacío y un gran lugar ocupado por industrias de tubos sellados al vacío, tales como: las lámparas de incandescencia, lámparas de recepción de radiodifusión, tubos de rayos X y tubos de emisión de gran potencia. Por otra parte, institutos de investigación, laboratorios universitarios y laboratorios industriales. Frente a estos usuarios, los fabricantes entregaban al mercado toda una gama de bombas de vacío, vacuómetros, así como aparatos de utilización, tales como: hornos de fusión bajo vacío, aparatos de vacío mantenidos a alta tensión (como los de rayos X) y generadores de neutrones.

En 1945 y en los Estados Unidos nace la industria atómica militar. Este hecho impulsa fuertemente a la tecnología del vacío, ya sea: en una gran demanda de equipos, en la puesta a punto de los calutrones de Oak Ridge (afectados a la separación electromagnética de los isótopos del uranio) o en la obtención de dos metales de gran importancia como el circonio y el hafnio (por el proceso de fusión por arco en "crisol frío").

La evolución de esta técnica en los últimos 20 años, señala tres hechos importantes: 1º Bayard y Alpert,

descubren el ultravacío y los medios de medirlo hacia 1953; 2º Se crean nuevos medios de bombeo para la obtención del ultravacío: bombas iónicas, bombas getter y bombas criogénicas; 3º Se acentúa la tendencia a la utilización de la técnica de hacer vacío en conjuntos cada vez más grandes, lo que implica caudales de bombeo cada vez más considerables. Los ensayos sobre la fusión termonuclear controlada y la realización de cámaras de simulación espacial, son las manifestaciones más notables de esta tendencia.

Para concluir, debemos llamar la atención sobre el hecho siguiente: la tecnología del vacío es un dominio en expansión, el número de cuyas aplicaciones tanto de investigación como industriales no cesa de crecer.

El vacío considerado como un aislante térmico es utilizado en todas las técnicas de muy bajas temperaturas: cámaras de burbujas a hidrógeno líquido, superconductividad y en la simulación espacial.

Considerado como medio limpio evitando la contaminación de las atmósferas de trabajo, es utilizado en las investigaciones sobre la fusión termonuclear, la difusión gaseosa y la metalurgia bajo vacío.

Considerado como un medio seco, favorece la destilación y la desecación, es utilizado en la liofilización, el secado, la destilación molecular y la metalización por evaporación.

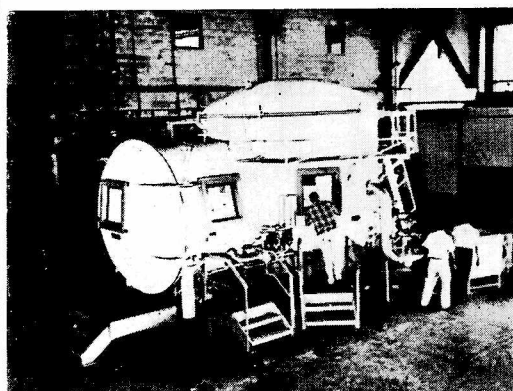
Por último, siendo el medio aislante eléctrico en el que las trayectorias de las partículas no son desviadas, es utilizado de una manera fundamental en los tubos electrónicos, los separadores electromagnéticos de isótopos, espectrómetros de masas, difractores de electrones, microscopios electrónicos e iónicos y aceleradores de partículas.

BIBLIOGRAFIA

Para esta revisión histórica se han consultado escritos de los siguientes autores:

- BELCK, L. A.: *Técnicas del vacío en Metalurgia*.
HENRY, R. P.: *Curso de Ciencia y Técnica del Vacío*.
MATRICON, M.: *Resumen histórico de la técnica del vacío*.
PONTE, M.: *Conferencia*.
RUSSELL, B.: *La Sabiduría de Occidente*.
WINKLER, O.: *Historia y desarrollo de la metalurgia de fusión en vacío*.

AGRADECIMIENTO: El autor tiene el deber de agradecer aquí al Sr. Ing. José Babini, el haber podido utilizar su valiosa biblioteca para la confección de este artículo.



13) Simulador Espacial.