



UNA APLICACIÓN DE LA METALOGRAFÍA A LAS MÁQUINAS

POR DON ANDRÉS BENGUA, INGENIERO INDUSTRIAL

Nuestro amigo el eminente Director de Hornos Altos Sr. H. Schnettler tuvo la atención de remitirnos unas muestras de un émbolo, del cilindro de viento de una soplante, roto, (fig. 0) juntamente con una memoria descriptiva de las condiciones de trabajo que determinaron la avería, casi simultánea, en dos soplates del mismo tipo, preguntándonos si habíamos experimentado algo análogo y pidiéndonos, en todo caso, la opinión que nos merecía el accidente.

Tratándose de tal autoridad, de tal delicadeza y de caso tan curioso, estudiamos con verdadero cariño el asunto, producto del cual es el condensado trabajo que hoy exponemos en «DYNA» como una manifestación de la importancia de la Metalografía como auxiliar poderoso de la industria Sidero-Metalúrgica.

Para mejor asesoramiento en nuestro estudio, hemos obtenido varias microfotografías correspondientes a las zonas del émbolo N.ºs 1 y 2 (fig. 0) así

como macrofotografías de barretas obtenidas de las pruebas enviadas y ensayadas a la fatiga, así como impresiones de azufre para ver la repartición del mismo. Unas micrografías pertenecen a las pruebas tal como se han recibido, y otras, a las mismas pruebas después de sometidas a un prolongado recocido, indicado en el gráfico de la figura 5 que se acompaña juntamente con las correspondientes *micros* y *macros* referentes al examen efectuado.

También acompañamos una *micro* correspondiente a una palanquilla laminada en frío y con presión excesiva en la que aparece una estructura como de Widmannstätten, y otras dos correspondientes a un émbolo de análoga composición al remitido, recocido 10 Hs. a 860° C, con una permanencia en el horno de 60 Hs., y de dimensiones iguales al de referencia.

Al pie de cada *micro* y *macro* aparece lo observado por nosotros en ellas.

Causa ocasional de la avería.

Examinados los gráficos de las presiones del viento en los hornos altos, nada acusa motivo de cargo al personal afecto a ese servicio.

Refiriéndonos a las soplantes núms. 5 y 6—motivo de la cuestión—hemos de manifestar que siendo las características de su marcha en presión: 60 cm. de mercurio y 76 con marcha en sobrecarga (normales) y disponiendo de válvula de seguridad de 350 m/m de diámetro, graduada por el montador de la casa suministradora, para que iniciase su apertura a los 76 cm. de presión de viento, y habiendo llegado ésta, el día que acusó la rotura, a 73 cm. en el horno (tenemos a disposición los gráficos que lo registran), no cabe culpar al personal en servicio la avería ocurrida, máxime, funcionando esas válvulas con perfecta regularidad. (En la

Siendo la composición del acero moldeado empleado en la construcción del émbolo: C.t=0,260—Mn=0,790—Si=0,394—Ph=0,052—S=0,034.

Lo consideramos como un acero Martín semi-duro y tomamos un coeficiente de trabajo estático de 950 kgs. por cm. siendo el coeficiente que tomamos para nuestro trabajo de esfuerzos variables en magnitud y en signo: $R = 316$ kgs. por cm.² y para módulo de elasticidad E daremos un valor de 2.150.000 kgs. cms.

Para p tomaremos el valor 1,033 kgs. correspondiente a la presión por cm.² que da la altura de 76 centímetros en columna de mercurio.

Sustituyendo valores en esas fórmulas y poniendo en vez de d el diámetro del cilindro 234 cm., tendremos:

$$e=6,38 \text{ cm. y } f=0,24 \text{ cm.}$$

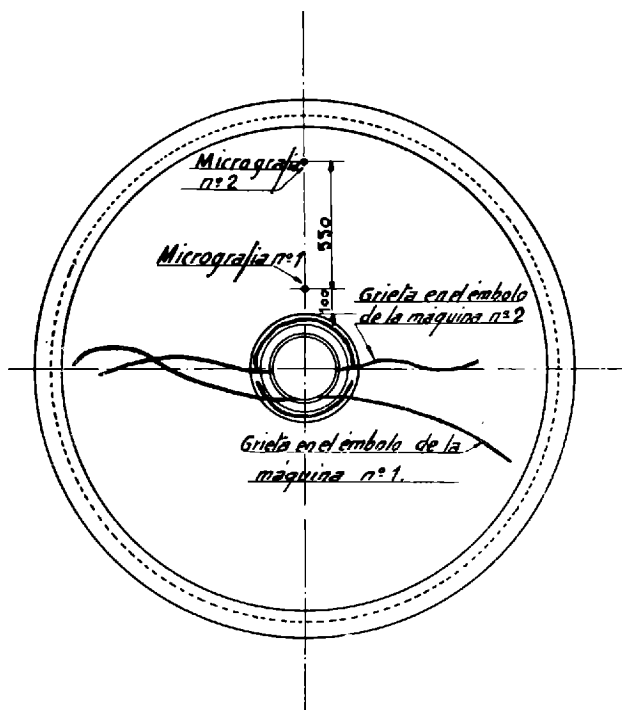
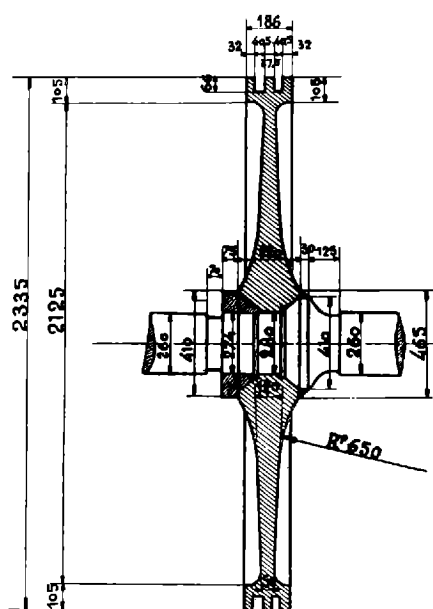


Fig. 0

Émbolo en el que se indican las grietas y las zonas 1 y 2 a que pertenecen las pruebas

soplante núm. 6 fué 63 cm. la máxima presión alcanzada cuando su rotura).

Hagamos un estudio del émbolo que pueda servir de comprobación a nuestro aserto.

Cálculo del émbolo.

Acompañamos a este informe el plano (fig. 0) del émbolo en el que están indicadas las roturas de los émbolos, haciendo notar que la rotura más larga corresponde a la máquina núm. 5 por estar trabajando, a pesar de acusar dicha rotura, desde el 18 al 22 de Diciembre.

Como el máximo momento de la flexión es el mismo estando apoyado en toda su circunferencia, con una carga por unidad p , que teniendo un solo apoyo central con la misma carga, empleamos las fórmulas de Brune para determinar el espesor e y la flecha f en las placas circulares apoyadas,

$$R e^2 = \frac{117}{512} p d^2 \quad f = \frac{189 p d^4}{4096 E e^3}$$

Como la resistencia del émbolo actual corresponde a un espesor uniforme de 10 cm., sin contar con el aumento de espesor en las uniones al cubo y a la llanta, se comprende que no se pueda achacar a los esfuerzos sufridos por el aumento en la presión del viento la rotura ocurrida al émbolo.

Según Linder, la dificultad del cálculo del pistón con distintos espesores, hace que señale 1,2 y 0,8 como los coeficientes por los cuales ha de multiplicarse el espesor uniforme, lo que daría en nuestro caso, siendo este 100 m/m: 120 m/m en la parte de la corona y 80 m/m en la parte de la llanta, a la que se ha dado 50 m/m.

Pero aún hay más; aplicando la fórmula de Ensslin para determinar la fatiga correspondiente al cubo de radio exterior $r=23,25$ cm., siendo P y P_c las presiones: total del émbolo, y la que gravita sobre la corona, respectivamente, y cuyos valores son 36.736 y 7.566 kgs., la fatiga, de la cual deducimos un espesor uniforme, vendrá dada por:

$$\delta_r = \frac{\psi_1 36.736 - \psi_2 7.566}{e^2} \leq k_f$$

FIGURA 1.^a

Microfotografía correspondiente a la zona núm. 1 del émbolo.

X 80. — Atacada por NO_3H y $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ (4 %)



Manifiesta estructura de Widmannstätten

FIGURA 3.^a

Microfotografía correspondiente a la zona núm. 1 del émbolo.

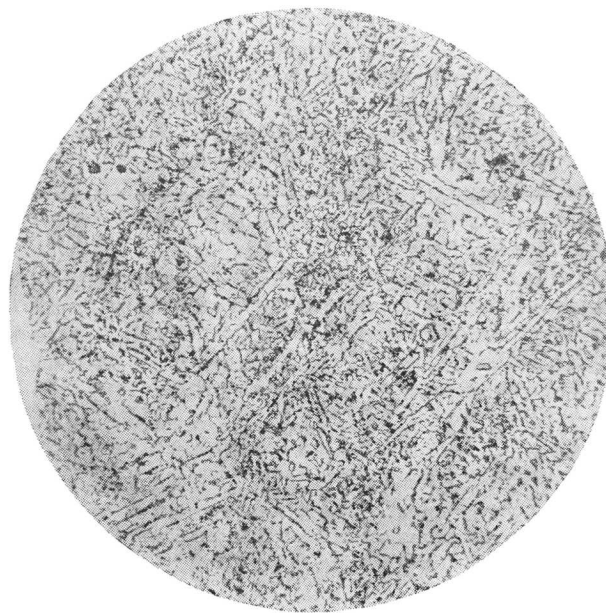
X 800. — Atacada por NO_3H y $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ (4 %)



Manifiesta bandas de Neumann

Microfotografía correspondiente a la zona núm. 1 después de un prolongado recocido según el gráfico de la fig. 5.

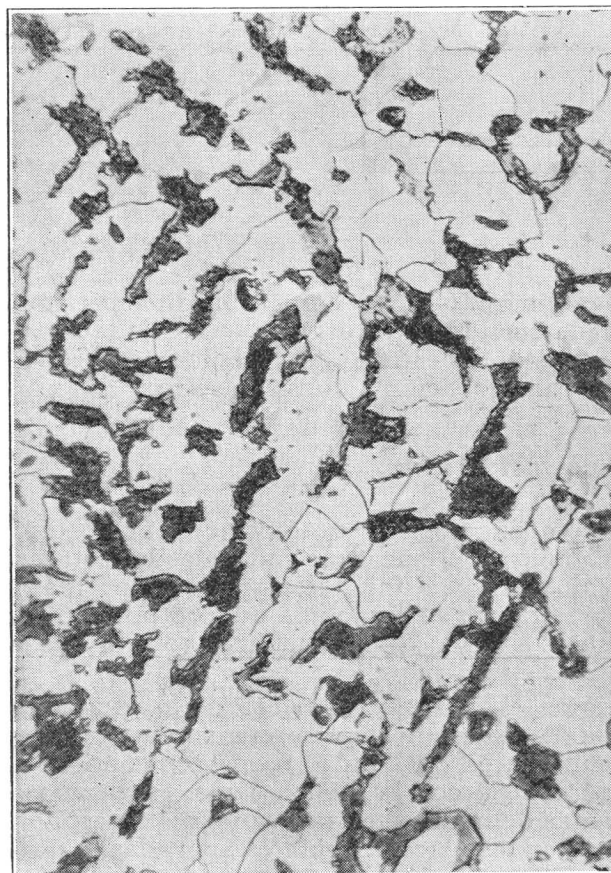
X 80. — Atacada por NO_3H y $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ (4 %)



Manifiesta una disminución del tamaño de los cristales y disminución de la estructura «grosera» de colada (lingotismo)

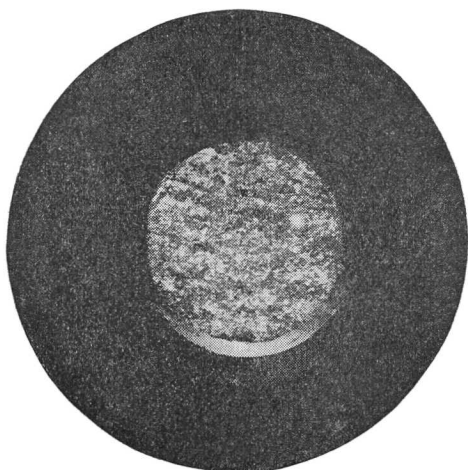
Microfotografía correspondiente a la zona núm. 1 del émbolo después de un prolongado recocido según el gráfico de la fig. 5.

X 800. — Atacada por NO_3H y $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ (4 %)



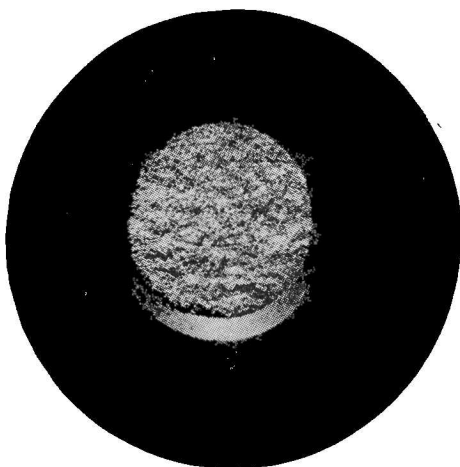
Manifiesta desaparición de las bandas de Neumann

Microfotografía correspondiente a la zona núm. 1 del émbolo.



Sección de fractura a choques repetidos de una barreta

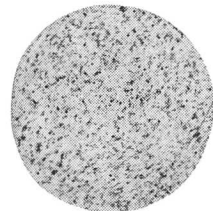
Macrofotografía correspondiente a la zona núm. 1 del émbolo después de un prolongado recocido según la fig. 5.



Sección de fractura a choques repetidos de una barreta

Tomando para $\psi_1=0,841$ y para $\psi_2=0,188$ deducidos de los valores dados por Ensslin, y dando al coeficiente de trabajo k_f el valor que hemos tomado anteriormente: 316 kgs. cm., resulta para e el valor de 10,16 cm.

Como en esa zona el espesor dado es de 22 cm., a mayor abundamiento estamos dentro de las posibles contingencias de aumento de presión.



Impresión de azufre (Baumann)

Determinando la flecha, como anteriormente, suponiendo el espesor uniforme de 10 cm., nos resulta de un valor: 0,064 cm.

En la determinación de los resultados expuestos anteriormente, no hemos tenido en cuenta que la presión sobre el émbolo había que disminuirla en la actuante sobre la superficie de diámetro 26 cm. ocupada por el vástago.

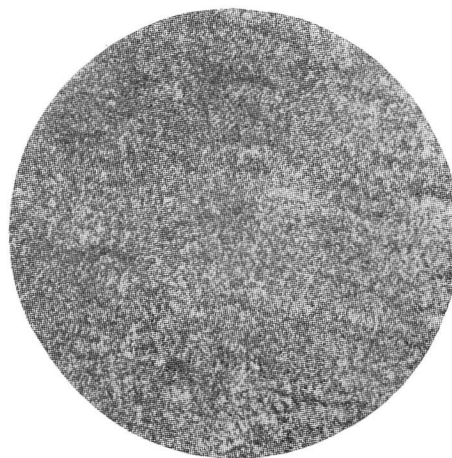
Ello contribuye a dar más fuerza a nuestra deducción.

Si empleamos las fórmulas: (Bach)

$$\delta_{\max} = \varphi \frac{r^2}{s^2} p \leq k_f, \quad f = \psi \frac{r^4}{s^3} \frac{p}{E}$$

Macrofotografía correspondiente a la zona núm. 1 del émbolo.

Segregación de Ph y estructura—reactivo de Heyn



Estructura dendrítica

dando a $r-s-p-E$ y k_f los valores: 117 cm.—s (espesor)—1,033 kgs.—2.150.000 kgs. cm. y 316 kilogramos cm. respectivamente, y siendo f la flecha y $\varphi=0,75$ y $\psi=0,451$ dados para el acero Martín dulce tenaz. Resulta: s (espesor) = 5,79 cm.; $f=0,211$ cm.

Resultados que confirman lo deducido antes.

De modo que esos émbolos pueden trabajar con una carga alternativa variable cuando menos 2,44 a 2,98 veces mayor que la correspondiente a 76 cm. en altura de mercurio.

Si la resistencia a la vibración (Weyrauch), que es la mayor tensión específica variable entre un máximo positivo y otro negativo que puede aplicarse a la pieza sin peligro de romperla, basta con que tenga un valor mitad de la tensión estática unitaria capaz de romper la pieza con una sola vez que se aplique según las investigaciones de Woehler y Bauschinger, el coeficiente de trabajo que hemos tomado pudo haber sido mitad del correspondiente a la carga estática y no el tercio que aconseja Bach.

Quiere esto decir que aún estamos en inmejorables condiciones de resistencia. Pero la flecha nos acusa que habrá vibraciones. (3 por 1" según las revoluciones 90 por 1').

¿Puede ésta alterar las condiciones del material? ¿Habría, quizás, otros esfuerzos además de la flexión?

Lo observado en las holguras del émbolo.

La tuerca de aprieto del vástago al émbolo de viento, se aflojó en cuatro ocasiones o cinco, en ambas máquinas. Y es de extrañar que la rosca del vástago ocupara con respecto a la tuerca una posición invariable a pesar de la holgura que tomaba el émbolo. ¿Sería ello debido a que el exagerado cono del émbolo no permitía un aprieto eficaz y una embutición perfecta? ¿Produciríanse entonces otros esfuerzos distintos sumados a los de flexión?

Ello es muy probable.

Para evitar esas holguras del émbolo se soplastaron el año 25 los pistones de las dos soplantes (el émbolo al vástago), y bien pudiera haber ocu-

rrido que ese sopleteo no evitara los esfuerzos desarrollados que habían de repercutir en las tensiones moleculares del material, mermando su resistencia. No hay que olvidar que entre esos esfuerzos actúa la vibración, ni que el calentamiento provocado por el sopleteo pudiera producir tensiones desiguales, aunque sin importancia ellas solas.

El caso es que coincide la rotura de ambos émbolos con los acentuados descensos de temperatura del aire atmosférico. Así como aparece rajada la soldadura correspondiente a media circunferencia.

Examen de las microfotografías

1 y 2, correspondientes a esas zonas del émbolo roto, señaladas en el plano del mismo :: ::

La número 1 corresponde a un espesor de 200 milímetros y la número 2, a un espesor de 80 milímetros. En ambos se observa una estructura completamente distinta. Porque si en la lucha por la supremacía entre los componentes del acero, los que primero se separan y son más abundantes resultan los más desarrollados (Howe), es cierto también, según Sorby, que sometido el acero a una temperatura elevada y prolongada, las moléculas de cada uno de los minerales se unen, separándose distintamente de otros.

Así pasa con las perlita y ferrita recocidas que se separan en cristales más distintos. La ferrita diseminada como una red en estado de laminillas en, y entre los cristales de perlita, se une en granos.

Aparece en 1; la estructura bruta de colada de Widmannstätten, y en la 2; una estructura basta de ferro-perlita de Arend. En la 1 se encontrarán, también, dendritas y una mezcla de «globulita» en cristales de licuación si su enfriamiento hubiese sido extraordinariamente lento, cosa que se ha tendido a evitar con objeto, sin duda, de sortear las grietas internas nacidas en el enfriamiento muy desigual de las distintas masas fundidas de acero (núcleo y disco del émbolo) por las diferentes tensiones desarrolladas, que denota. La n.º 2 afecta a una estructura que ha experimentado un enfriamiento muy lento, que si bien puede equivaler a un recocido, nunca será igual a él para la totalidad del émbolo; presenta también dendritas.

Supone Howe, que el recocido aumenta la relación de adherencia entre los cristales y la cohesión de cada una de ellos, de modo que la rotura puede penetrar en los mismos cristales produciendo planos de clivage. Cosa también referida por Coffin. Brinnell deduce de sus experiencias que el recocido entre 650 y 1000° C., según la cantidad de C., cambia la cristalización gruesa obtenida por una larga exposición a temperatura elevada o por la lentitud de un enfriamiento, en otra de facetas brillantes que llama esquisito-cristalina.

El recocido es necesario además para igualar las tensiones, alejando la rotura por un tratamiento térmico apropiado.

Es evidente, pues, que no ha recibido el material el tratamiento térmico adecuado y preconizado por la «Sdad. Americana para Ensayo de materiales» que exige material recocido para *máquinas o estructuras sometidas a esfuerzos alternativos*.

La 1.^a microfografía manifiesta una estructura menos resistente que la 2.^a. Parece como que éstas indican que ha sufrido la pieza un mal recocido que no ha alcanzado, suficientemente, a la zona correspondiente a la 1.^a, en la cual se han podido producir tensiones desiguales, debidas al distinto enfriamiento de su gran masa, que ha podido provocar movimientos intermoleculares «capaces de modificar o destruir la cristalización existente» (Howe); a las segregaciones y a las flexiones, vibraciones, etc.

Bien es verdad que para destruir la estructura de Widmannstätten sea necesario un recocido muy prolongado seguido de un enfriamiento lentísimo dentro del horno, y que se compruebe la deducción de Arend y de Oberhoffer de que en el metal recocido su mejoramiento en el punto Ac3 (850° con 0,26 de C.) depende en primer lugar, del espesor, resultando ser de 16 m/m el «espesor crítico» del acero colado en arcilla y arena grafitosa, para el cual el recocido no modifica la resistencia, pero que en nuestro caso, con distintos espesores, la modificación de estructura por el recocido esmerado, es independiente del grueso de las diversas partes de la pieza.

En el recocido es pues necesario para igualar las tensiones el modificar la estructura; y aun así y con un escrupuloso recocido siempre se encontrarán variaciones de resistencia a tenor de los distintos espesores y que serán tanto más importantes cuanto menor sea la cantidad de C. (Oberhoffer). Si el acero no está recocido los alargamientos aumentan con las proporciones de 0,15 a 0,27 de C, correspondientes a las estructuras: ferro-perlíticas, de Widmannstätten, globulítica y de 0,43 de C correspondiente a un aumento de la estructura molecular, disminuyendo, por el contrario, la resistencia, que pasa por un máximo en la estructura ferro-perlítica y en la reticular fina y por un mínimum en las de Widmannstätten, globulítica y reticular de granos gruesos.

La estructura ferro-perlítica de la zona 2.^a indica claramente ese enfriamiento lento que hemos indicado, el que ha permitido a los cristales de ferrita y perlita agruparse en masas más densas y homogéneas (Howe).

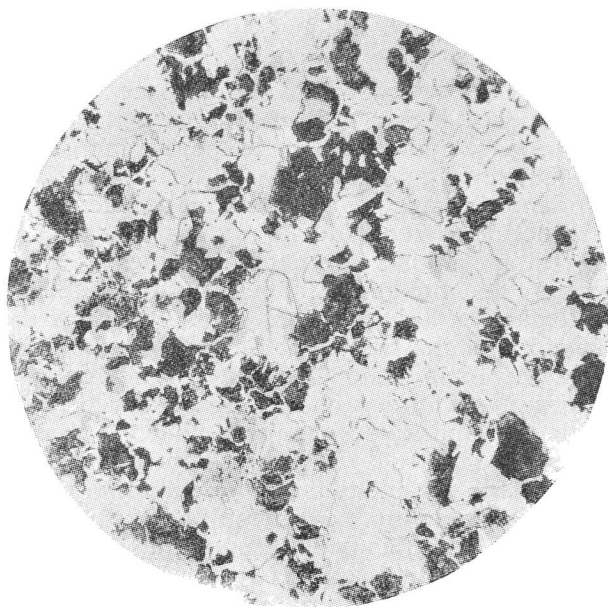
Deducimos, pues, del examen microfotográfico la falta en el material de un tratamiento térmico adecuado.

Otras consideraciones que se deducen del examen micrográfico.

Por él se deduce, también, que existen en la zona n.º 1 inclusiones de escorias, aunque éstas de poca importancia, y líneas de Neumann provocadas por la extremada fragilidad de la ferrita sometida a esfuerzos, al mismo tiempo que discontinuidades más o menos elípticas o alargadas infracrystalinas (figura 3, correspondiente a la zona 1) las que según las experiencias de E. G. Coker y A. L. Kimball expuestas en una memoria leída en la «Institución de Arquitectos Navales» (1920) que confrontan con los estudios teóricos del profesor Inglis (1911), provocan diferencias considerables de tensiones al ser sometidas las piezas a esfuerzos de tracción y compresión.

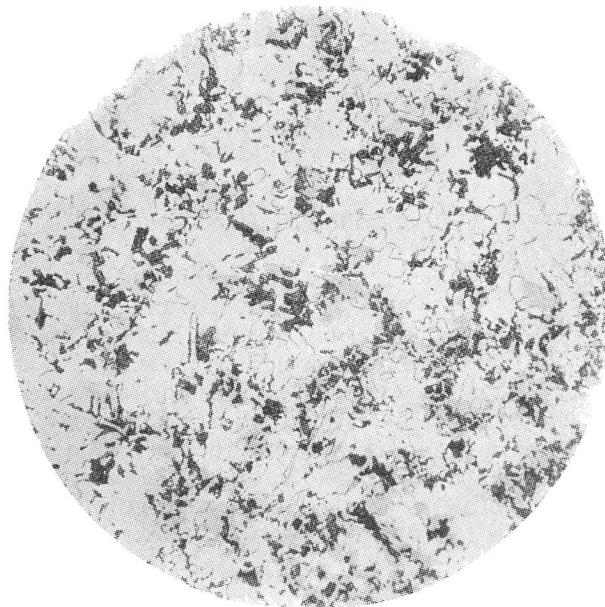
FIGURA 2.^a

Microfotografía correspondiente a la zona núm. 2 del émbolo .

X 80.—Atacada por NO_3H y $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ (4 %)

Manifiesta estructura de recocido imperfecto

Microfotografía correspondiente a la zona núm. 2 del émbolo después de un prolongado recocido según la fig. 5.

X 80.—Atacada por NO_3H y $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ (4 %)

Manifiesta disminución en el tamaño de los cristales

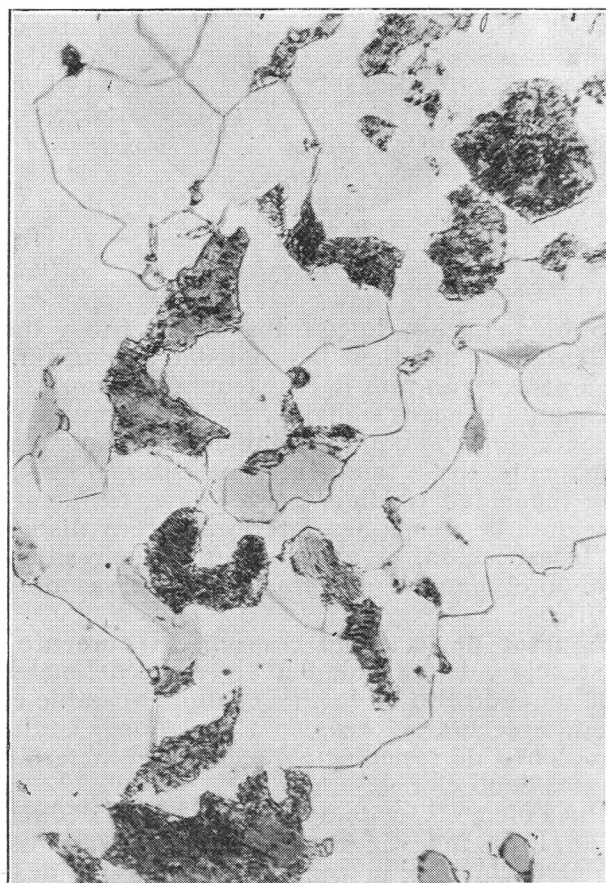
FIGURA 4.^a

Microfotografía correspondiente a la zona núm. 2 del émbolo

X 800.—Atacada por NO_3H y $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ (4 %)

Manifiesta escasez de bandas de Neumann

Microfotografía correspondiente a la zona núm. 2 del émbolo después de un prolongado recocido según la fig. 5.

X 800.—Atacada por NO_3H y $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ (4 %)

Manifiesta disminución en el tamaño de los cristales

Zona núm. 2 del émbolo

Impresión de azufre
(Baumann)

Todo ello denota una heterogeneidad mecánica producida por deformaciones internas sufridas por el material en su largo e intenso trabajo.

Es un material fatigado, cuya mejoría solo podía obtenerse a expensas de un recocido esmerado imposible de obtener en la pieza en trabajo.

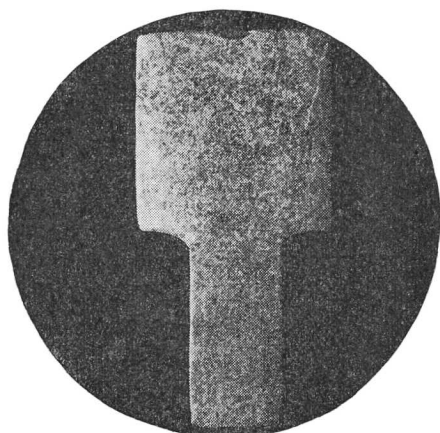
Causas de la rotura.

Pero aún había más, y en esto estriba, a nuestro entender, la rotura simultánea de los dos émbolos con diferencia de 15 días.

Hemos deducido el estado de heterogeneidad mecánica y el de hipertensión del material a lo que se ha de añadir que su trabajo se ha realizado a una temperatura media, sensiblemente de 100° C., sin color, correspondiente a la compresión media del viento.

Macrofotografía correspondiente a la zona núm. 2 del émbolo

Segregación de Ph y estructura—reactivo de Heyn



Manifiesta estructura dendrítica

Si bien el acero dulce trabajado en frío y luego recalentado a 100° tiene la propiedad extraordinaria de aumentar aún más la resistencia (Howe).

Cuando el acero trabaja a esa temperatura produciendo una, aunque insignificante, deformación permanente, llega, también, a aumentar su resistencia y tenacidad tendiendo esa suave temperatura a mejorar las tensiones interiores; pero disminuyen la estricción, el alargamiento y la resiliencia llevando el material a la fragilidad (curvas de Rudeloff).

A pesar de lo dicho respecto al aumento de resistencia y de tenacidad en el trabajo del material a 100° cuando ello da lugar a cualquier cambio cristalino, molecular, alotrópico u otro, puede anularse el aumento de resistencia quedando el material en pésimas condiciones.

Pues bien, a esta temperatura, según deducciones de Howe, investigaciones de Heyn y estudios de K. Meerbach sobre la fragilidad del material de acero dulce una vez enfriado, resultante de débiles deformaciones por tensiones internas producidas por

desigualdad de calentamiento entre 200° y 300° C., una diferencia de 120 grados de temperatura en el material basta para producir esfuerzos del orden de magnitud del límite elástico en un material de 50 kilogramos de resistencia (Meerbach).

Esto mismo corroboraba Charles Frémont al decir que aceros no frágiles resultan serlo en frío luego de una deformación permanente, producida estáticamente o por choque, cuando el material está a una temperatura crítica comprendida entre 200 y 400° próximamente.

Podemos decir: que ese material de nuestro estudio sometido o recocido largamente a 100°, por la compresión del aire, con deformaciones de trabajo mínimas, las que reducen la resistencia del material, llegaría a la rotura cuando el tiempo de la aspiración del aire frío ha coincidido con las temperaturas mínimas, bajo 0° (primeras heladas), que produjeron enfriamientos desiguales merced a la diferencia de espesores, los que actuaron, conjuntamente, con la fatiga del acero, dependiente de los centenares de pequeñas tensiones locales derivadas de los defectos como discontinuidades, grietas microscópicas internas y externas, que determinan una penuria en el material, bajo los esfuerzos obtenidos repetidos millones de veces, y planos de débil resistencia, según los cuales la rotura pudo producirse repentinamente aún cuando los esfuerzos estáticos o los sufridos, solamente, algunas centenares de veces no hayan ocasionado un efecto dañoso. Esto aclara el por qué la consideración del límite elástico no es garantía de resistencia a la fatiga que es apreciada por la resiliencia, que mide la fragilidad en kgs. absorbidos por el choque con la máquina de Farmer o el «carnero» de Charpy.

A. F. Moore y I. B. Kommers se han ocupado de ella deduciendo: que los tratamientos térmicos tienen gran influencia y que el recalentamiento la disminuye mucho, reduciéndola algo el recocido así como la hipertensión, mientras la aumenta la hiper-compresión; que la extructura sorbitica es favorable, siendo opuesta la martensítica; y, negando lo que hemos afirmado, no solo por las autorizadas opiniones que hemos aducido sino por una comprobación práctica con el propio material, de la que luego hablaremos, dicen: que *el recocido no parece aumentar la duración de un metal sometido a esfuerzos alternados*.

También añaden que la resistencia a la fatiga de un acero normal al C., aumenta con la proporción del mismo hasta 0,9 %; y que el Ni, Cr, Va., etc., parecen mejorar el metal bajo el punto de vista de la fatiga.

Tal importancia tiene esa resistencia a la fatiga que la Universidad de Illinois emprendió en 1919 una serie de investigaciones de resistencia a la fatiga bajo los auspicios del Consejo Nacional de Investigaciones de la fundación de los Ingenieros, y de la estación de experiencias de los Ingenieros de Illinois.

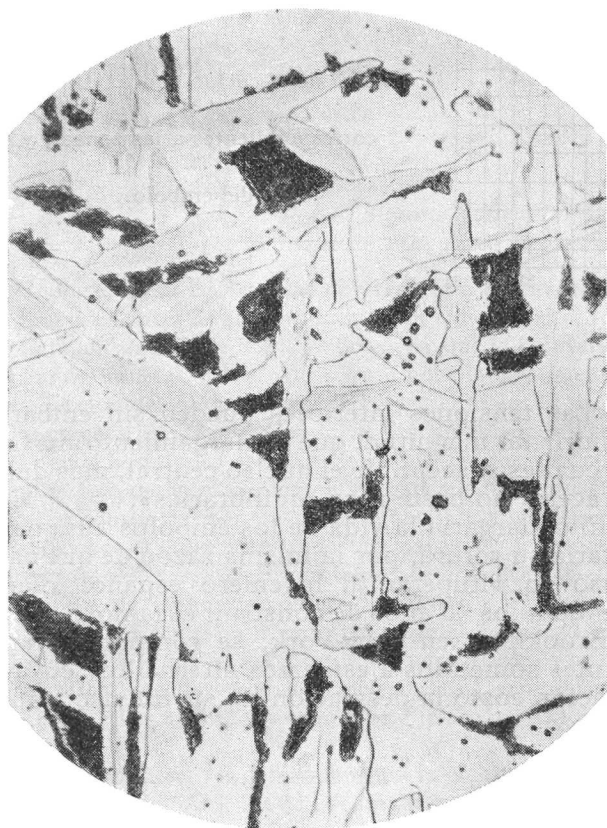
Constantes del material roto.

Como la composición química del acero del émbolo que responde a:

C = 0,26 — Mn = 0,79 — Si = 0,394 — Ph = 0,052 — S = 0,034 es buena y a ella corresponde siendo

Microfotografía comparativa de una palanquilla laminada en frío
y con presión excesiva

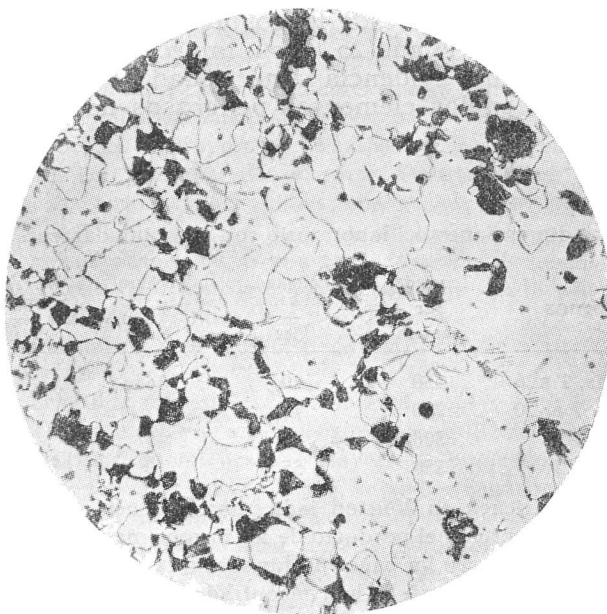
X 808.—Atacada por NO_3H y $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ (4 %)



¿Estructura de Widmannstätten?

Microfotografía de un émbolo de acero fundido en una composición similar
al de referencia—zona núm. 1.

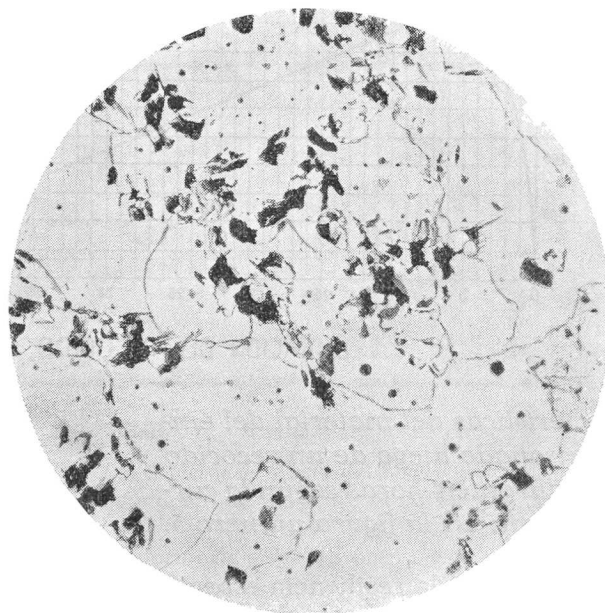
X 80.—Atacada por NO_3H y $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ (4 %)



Recocido 10 horas a 860° con una permanencia en el horno de 60 horas

Microfotografía de un émbolo de acero fundido en una composición similar
al de referencia—zona núm. 2

X 80.—Atacada por NO_3H $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ (4 %)



Recocido 10 horas a 860° con una permanencia en el horno de 60 horas

homogéneo y bien recocido (Acero Krupp fundido de pistones).

Un coeficiente de resistencia $R=50$ Kgs.

Un alargamiento % . . . $A=23,5$ »

Una estricción % . . . $S=45$ »

Desconocemos el límite elástico E , la dureza Brinell Δ_B y la resiliencia específica ρ .

En la zona 1 del pistón las características son (barreta cilíndrica de 14,8):

$E = 20,7$ Kgs. mm^2

$R = 46,4$ » »

$A = 24,0$ » »

$\rho = 1,5$ » cm^2

$\Delta_B = 121$

Fatiga : N.º de golpes : 13 216—Trabajo : 1250,9 Kgs. cm^2 .

Indica, su composición, segregación de S y P que suben a 0,040 y 0,054 respectivamente sobre su composición.

En la zona 2 las características son:

$E = 20,0$ Kgs. mm^2

$R = 47,0$ » »

$A = 30,0$ en 100 mm.

$\Delta_B = 123$

$\rho = 0,975$ Kgs. cm^2

Fatiga : N.º de golpes 3,404—Trabajo 427,576—Azufre $S=0,036$ y fósforo $P=0,051$.

La comparación de esas características en la resiliencia y fatiga, y en el alargamiento y resistencia, demuestran los diferentes estados del material precursores de la rotura y también sus diferencias con las características, presumibles por su composición, que hubo de tener el material sin uso.

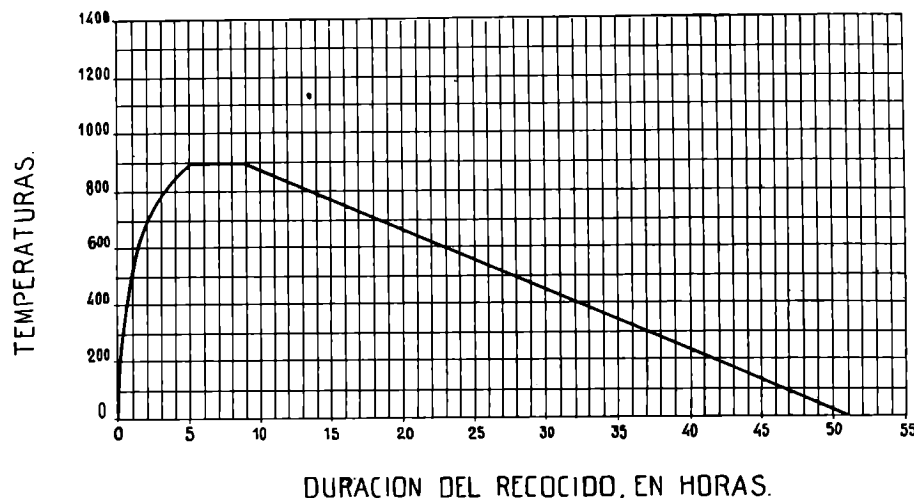
FIGURA 5.^a

Gráfico del recocido dado a las pruebas correspondientes a las zonas 1 y 2 del émbolo.

Características del material del émbolo ensayado luego de un recocido a 900° durante 4 horas según la curva indicada en la figura número 5.

En la zona 1 la resiliencia específica ρ ha subido a 7,96 kgs. cm², la resistencia R a 52,9 kgs.; la dureza Brinell Δ_B a 146 y la fatiga (golpe de 4 kgs. desde 3 cm.)

En la zona 2 resultan estas características:

$\rho = 6,62 - R = 57,6 - \Delta_B = 159$ y la fatiga: Número de golpes 38.376 y su trabajo 4265,4 kgs. cm.²

El examen de estas características nos indica el estado del material y la necesidad de un escrupuloso recocido. Rompiéndose el material donde el esfuerzo y la flecha son mayores o sea hacia el núcleo.

La razón de la rotura del pistón partiendo del núcleo, tiene su explicación también en las siguientes observaciones de Otto Thallner: «el acero no se desgarrar siempre en la zona de mayor tensión; la ruptura se origina frecuentemente donde el metal presenta el menor alargamiento y tenacidad. También este accidente se produce, con bastante generalidad, en los ángulos vivos y sobre las aristas en las que es mayor la dureza, y raramente en el cuerpo mismo de las piezas cuyo núcleo, más dulce puede soportar con más facilidad, sin desgarrarse, un alargamiento dependiente de los esfuerzos de tensión».

«Las tensiones interiores pueden sin embargo, adquirir tal magnitud, que el alargamiento máximo del cual es susceptible el núcleo central, más dulce, del acero, no baste para equilibrarlas».

Ello alargaría la vida de los émbolos aunque no evitaría su rotura, por la misma razón de que nadie pensó en vituperar al Ingeniero español Blanco cuando a los 40 años de construir el famoso puente de Brooklyn, en New-York, se rompieron varios tirantes sometidos a esfuerzos alternados, cuya reparación costó la desviación de su intenso tráfico.

Conclusión.

Podemos decir que la rotura ha sido debida al estado del material y a sus condiciones de trabajo y temperatura, los cuales han provocado la rotura, casi simultánea, como ha ocurrido, con menos precisión, en otros elementos de las máquinas.

Desechamos la idea de que el sopleteo del émbolo al vástago haya sido la determinante de la rotura; solo admitimos que haya coadyuvado a ella, pues las tensiones provocadas por el sopleteo eléctrico son superficiales y en nada pueden afectar ellas solas a la fragilidad de la gran masa en esa zona sopleteada. Desde luego juzgamos ese sopleteo, efectuado el año 25, como improcedente.

Esta rotura evidencia la necesidad de piezas de recambio en los elementos peligrosos de trabajo.

REVISTA DE REVISTAS

Grandes hornos de solera para la fabricación de acero.

Por F. A. King. — Memoria leída en el A. I. and S. Institute. — Mayo 1929. — (Extracto).

El progreso más importante en el desenvolvimiento de los hornos de solera, en relación con el aumento de capacidad ha sido, quizás, el realizado en los últimos años por la Weirton Steel Co. en su instalación de hornos Siemens que comprende, 12 hornos fijos de capacidad comprendida entre 150 y 350 toneladas.

Las dimensiones del laboratorio son aproximadamente, las siguientes:

Hornos	Toneladas por sangría	Longitud del baño — Pies	Anchura — Pies	Area del crisol — Pies ²
Núms. 1 al 6	150	40	16	615
» 7 al 10	250	45	17	720
Núm. 11	300	49	19	860
Núm. 12	350	55	19	992

La experiencia en Weirton, indica una tendencia al aumento del rendimiento en el producto de los hornos mayores.

La oxidación en los baños profundos no es tan grande como en los de menor altura. Se han encontrado menos perturbaciones de solera, a medida que aumenta el tamaño o profundidad del baño. Con baños espesos, el fondo limpia mejor, siendo más fácil conservarle en buenas condiciones.

En la práctica, los hornos mayores presentan menos perturbaciones de solera. No es de presumir que con estas dimensiones se haya alcanzado el límite de capacidad de los hornos de solera para la fabricación de acero.

La planta de sintering, de MM. Guet., Keen & Nettlefolds, en Cardiff :: ::

Por E. Simons. *Journal of I. and S. Institute* 1929. (Extracto).

Expone el autor las ventajas de preparar convenientemente los minerales antes de su introducción en el horno alto, recordando la afirmación de F. H. Willcox, de que la trituration y cribado de mineral, cok y caliza, hace posible el aumento de la producción del horno en, aproximadamente, un 12 %.

En muchas plantas del Continente es práctica corriente no cargar en el horno alto trozos más pequeños que un cubo de 25 milímetros de lado. Se logran de este modo producciones mayores, consumos menores de combustible y pérdidas más reducidas por el polvo arrastrado con los gases. Son menores las presiones de viento y, por lo tanto, la potencia gastada en su compresión, menos frecuentes las caídas y agarres, obteniéndose por lo tanto un trabajo más regular del horno.

La aglomeración de finos, es ideal para su empleo en los hornos altos, pues los productos del sintering son muy porosos, con amplias superficies expuestas a la acción de los gases reductores.

Después de describir detalladamente la planta de sintering de Cardiff sistema A. I. B., da cuenta de la práctica de la operación.

Se facilita el proceso de aglomeración por la presencia de una razonable cuantía de pequeño material granudo hasta un cubo de 1/4 de pulgada. Si el material tuviese un tamaño mayor, es menester triturarlo, pues sería demasiado grueso para fundir en sintering. Se tritura el cok a tamaño menor de 1/4 de pulgada. Conviene que el cisco de cok sea granudo, pues de otro modo quemaría con demasiada rapidez.

Todos los materiales deben ser suministrados secos al mezclador. Una lluvia fina de agua los humedece en el interior de éste durante el malaxado. Los materiales mezclados contienen aproximadamente 15 % de agua. Deben estar exentos de cal, pues cal y sílice funden conjuntamente a baja temperatura lo que determina la formación de masas densas que se apelmazan en las canastas. Análogamente, si hay demasiado carbón en el material a aglomerar, funde la masa y el aglomerado es duro y denso. La proporción de carbono necesario en la mezcla varía con los materiales a tratar. Para sinterizar mineral de hierro, piritas y polvo de las tuberías, se precisa aproximadamente 7 % de carbono. Antes de determinar la ignición, se expone sobre las canastas una pequeña proporción de antracita o cisco de cok. Esto asegura el encendido y reduce al mínimo la cantidad de finos.

Los cuadros I y II muestran los análisis de las materias empleadas.

El cisco de cok empleado es obtenido de las cribaduras de los hornos de cok y el análisis es similar al del cok ordinario, aunque con proporciones algo mayores de humedad y cenizas.

Todos los minerales de hierro, hematites o magnetitas aglomeran bien y no presentan dificultades en el sintering si los contenidos de hierro o sílice no son extraordinariamente elevados. Las piritas tostadas son ordinariamente más refractarias que los minerales de hierro y precisan de más cok. Contienen frecuentemente un porcentaje elevado de azufre, especialmente cuando llevan una gran parte de material crudo, en el que no ha sido eliminado el azufre. No obstante, la mayor

parte del azufre se elimina durante el proceso de aglomeración. El *Purple ore* no presenta dificultades en el sintering y da buenos aglomerados.

Cuadro I.—Análisis de minerales de hierro

	Obregón menudo	Espático	Espático	Tamera	San Miguel	Piritas quemadas		
	%	%	%	%	%	%	%	%
Humedad	12.80	1.00	0.62	5.2	9.10	7.00	12.4	15.0
Hierro	40.46	56.82	54.91	51.9	47.32	56.42	51.6	50.15
Manganeso	—	—	—	—	—	—	—	—
Sílice	11.30	—	9.54	—	—	—	—	—
Alúmina	6.95	—	0.99	—	—	—	—	—
Residuo insoluble	13.86	7.93	—	4.26	9.56	1.85	8.00	7.7
Cal.	0.17	1.05	2.88	0.76	—	0.80	—	—
Magnesia	3.05	4.07	0.26	—	—	0.20	—	—
Fósforo	0.04	0.013	0.016	0.046	0.017	0.01	0.014	0.022
Azufre	0.052	0.43	0.519	0.082	0.023	0.40	2.7	2.80
Cobre	—	—	—	—	—	0.32	—	0.13

Cuadro II.—Análisis del polvo recogido

I y II.—Del colector de polvo del horno alto.

III.—Del conducto de gas entre el horno alto y el lavador de gas.

IV.—Del colector de polvo adyacente a la planta de depuración.

	I	II	III	IV
	%	%	%	%
Humedad	12,00	Seco	0,80	0,10
Oxido ferroso	21,70	12,60	26,14	29,03
Oxido férrico	37,60	49,01	30,24	36,54
Hierro total.	43,12	44,1	48,7	48,15
Residuo	7,24	10,9	9,92	—
Cal.	—	3,30	2,97	2,58
Magnesia.	—	1,50	1,81	1,62
Anhidrido sulfúrico	—	1,02	0,99	1,21
Acido fosfórico	—	0,082	0,072	0,065
Pérs. por ignición	13,6	14,80	11,30	7,50
Azufre.	—	0,41	0,40	0,49
Fósforo	—	0,036	0,032	0,029
Carbono.	12,20	12,48	10,44	7,00

El polvo de horno alto es uno de los materiales más difíciles de tratar.

Como, no obstante, el horno alto produce mucha cantidad de él, es menester emplearlo, pues es muy barato. El polvo que se recoge en Cardiff es rico en hierro y carbono, pudiendo considerarse como mineral y combustible. El exceso de carbón reemplaza parcialmente al cisco de cok. Las perturbaciones con este material provienen de la variabilidad de su porcentaje en carbono, resultando el mezclado unas veces con exceso de este cuerpo y otras veces con defecto. Por eso el mezclado nunca debe contener más del 30 % de polvo de horno alto, si se quieren obtener aglomerados de calidad regular.

No debe emplearse tal como viene del horno alto. Aglomera mucho mejor cuando ha sido almacenado a cielo abierto y humedecido durante varios meses.

El polvo de retorno del sintering representa de un 15 a un 20 %, siendo fácil de aglomerar de nuevo y prestando porosidad al aglomerado.

La instalación actual de Cardiff, con 8 canastas en trabajo de las 12 a instalar, produce diariamente unas 230 toneladas diarias de aglomerado.

El mezclado es variable, habiéndose llegado a trabajar con 49 % de mineral espático,

15,5 % de piritas,

15 % de polvo de alto horno,

20,5 % de finos de retorno.

Los resultados de la operación vienen dados en el cuadro III.

Cuadro III.—Análisis de la mezcla a aglomerar y del aglomerado resultante, desde 14 de Septiembre hasta 12 de Octubre de 1928.

MEZCLA								AGLOMERADO								
Fecha	Hu- medad o/o	Car- bono o/o	Hierro o/o	Res. Insoluble o/o	Azufre o/o	Fósforo o/o	Pérdidas por ignición o/o	Fecha	Hierro o/o	Res. Insoluble o/o	Sio ₂ o/o	Al ₂ O ₃ o/o	CaO o/o	MgO o/o	S o/o	Ph o/o
14-9-28	15.80	7.00	43.95	7.93	0.40	0.021	8.16	14-9-28	60.50	10.98	8.72	—	—	—	0.090	0.030
17-9-28	14.80	7.14	44.13	7.83	0.43	0.023	8.00	17-9-28	60.00	11.68	8.90	—	—	—	0.086	0.028
18-9-28	14.50	6.00	45.31	8.44	0.39	0.024	7.52	18-9-28	59.80	12.68	8.80	—	—	—	0.055	0.031
19-9-28	15.20	6.40	43.92	8.14	0.39	0.023	7.90	19-9-28	59.00	12.60	8.60	—	—	—	0.068	0.031
20-9-28	15.40	4.84	44.42	10.40	0.37	0.023	6.97	20-9-28	58.70	12.80	8.30	—	0.98	1.98	0.066	0.030
21-9-28	14.35	5.10	45.40	8.40	0.42	0.019	7.60	21-9-28	58.80	13.18	8.90	—	—	—	0.054	0.031
24-9-28	14.30	5.80	45.15	8.30	0.31	0.014	6.90	24-9-28	57.80	13.88	9.40	—	—	—	0.030	0.028
25-9-28	14.50	6.40	43.31	9.40	0.33	0.015	7.60	25-9-28	56.80	14.60	7.90	—	—	—	0.037	0.028
26-9-28	15.40	6.00	44.80	8.90	0.43	0.015	7.70	26-9-28	57.30	14.58	8.60	—	—	—	0.054	0.031
27-9-28	13.90	6.50	44.72	10.32	0.37	0.012	8.22	27-9-28	56.60	15.76	9.80	—	0.76	1.47	0.047	0.031
28-9-28	14.50	6.40	44.46	8.80	0.38	0.014	7.96	28-9-28	57.60	14.60	9.12	—	—	—	0.041	0.030
1-10-28	14.50	6.00	45.31	8.55	0.41	0.017	7.69	1-10-28	58.00	13.64	9.64	—	—	—	0.047	0.024
2-10-28	15.40	4.77	45.17	8.25	0.40	0.019	7.40	2-10-28	58.20	13.52	9.40	—	—	—	0.066	0.030
3-10-28	16.30	6.10	43.85	8.80	0.39	0.017	6.95	3-10-28	59.40	14.06	10.00	—	—	—	0.033	0.032
4-10-28	14.10	6.41	44.89	8.68	0.49	0.023	7.56	4-10-28	58.50	13.60	9.20	—	—	—	0.071	0.032
5-10-28	14.70	6.02	45.21	8.39	0.49	0.026	7.67	5-10-28	61.50	12.14	9.26	—	1.40	1.87	0.081	0.032
8-10-28	14.20	6.80	44.87	9.19	0.39	0.019	7.80	8-10-28	58.90	13.26	8.80	—	—	—	0.079	0.030
9-10-28	14.70	5.40	45.37	9.16	0.44	0.022	6.70	9-10-28	57.00	15.68	10.60	—	—	—	0.078	0.032
10-10-28	14.40	6.21	44.68	9.58	0.28	0.024	6.76	10-10-28	58.80	13.90	9.00	—	—	—	0.021	0.032
11-10-28	14.50	6.13	45.48	9.23	0.31	0.019	6.74	11-10-28	59.10	13.38	8.75	—	—	—	0.025	0.030
12-10-28	14.10	6.46	35.69	14.55	0.17	0.047	14.96	12-10-28	54.30	18.92	12.60	5.70	0.60	1.30	0.046	0.075

Protección de los arcos y paredes de las fogatas de calderas con cenizas fundidas.

Por J. Deachamps.—*Chaleur et industrie*.—Mayo de 1929.—(Extracto).

Después de tratar de diferentes métodos utilizados para proteger las paredes de las instalaciones de calderas calentadas con carbón pulverizado, presenta el autor un método de su invención, que consiste, substancialmente en disponer los tubos de las calderas con aletas o con nervios que acumulan una cierta cantidad de cenizas, cenizas que constituyen una protección efectiva de los tubos contra la acción del calor radiante,

causando solamente una pérdida muy pequeña de calor.

Pero las aletas y nervios han de estar suficientemente enfriados para no quemarse. Lo que sobresale del tubo está limitado por la extensión en que el agua del mismo suministra suficiente enfriamiento, dependiendo el límite de la calidad del metal, su conductibilidad térmica, forma de la pieza y naturaleza de la soldadura.

Los tubos verticales, como en la figura 1, deben ser equipados con aletas, y los tubos fuertemente inclinados con nervios, que proporcionan mejor conductibilidad calorífica que los primeros,

También describe el autor formas de tubos, algunos de ellos con aletas dobles, que pueden emplearse con varias clases de paredes y arcos.

El uso de tales tubos, permiten, entre otras cosas, emplear formas nuevas de cámaras de combustión.

En el artículo original se ven tres formas distintas. Una de

ellas, (fig. 2), dispone del horno en forma de V con las paredes inclinadas. La llama camina de abajo a arriba, a través de una sección creciente, de tal modo que su velocidad es pequeña a la llegada de los tubos, depositando las cenizas sobre las paredes en dirección opuesta a la de la llama. Esta clase de horno no puede emplearse con paredes refractarias, por razón de las perturbaciones derivadas de la adherencia de las cenizas a las paredes.

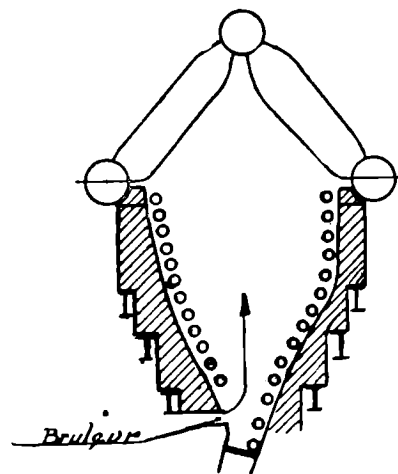


Figura 2.—Fogata para carbón pulverizado empleando el dispositivo de la figura 1.*

Cuando se desea tener llama invertida, particularmente conveniente con carbón que contenga proporción elevada de cenizas, recomienda el autor una disposición en la que se fuerza a la llama a caminar despacio de arriba a abajo, existiendo en el medio de la cámara de combustión una doble pared que tiene, naturalmente, temperatura elevada y que actúa como un poderoso generador de vapor. También muestra otra disposición en que la llama comienza en el fondo, sube hasta la parte superior sobre un altón de ladrillo y desciende de nuevo.

Protegida la parte superior del horno, permite este dispositivo un largo circuito de llama con caldera relativamente baja. Se pretende que esta resistencia es adecuada para calderas marinas acuo-tubulares.

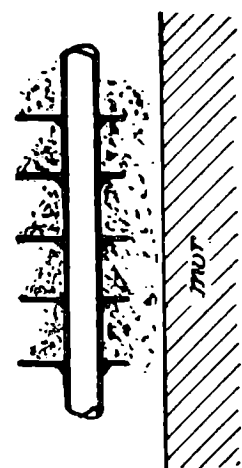


Figura 1.—Tubo vertical con aletas para retener las cenizas.

Producción y empleos del gas Helio. - - -

Por R. R. Bottoms.—*Mechanical Engineering*.—Septiembre de 1929.—(Extracto).

El Helio fué descubierto — como elemento terrestre — por Sir W. Ramsay en 1895, durante la investigación de un gas inerte, desprendido hirviendo el mineral cleveíta con ácido sulfúrico. Creyó Ramsay que este gas era argón, pero al examinar su espectro, en un tubo Crookes, se vió daba una línea amarilla brillante. Esta línea había sido descubierta en 1868 en el espectro solar y adscrita a un elemento solar nuevo, que se llamó Helio.

Pertenece el helio al grupo de elementos conocidos como gases raros de la atmósfera. Los gases restantes de este grupo son: *neon, argón, kriptón y xenon*. Se caracterizan todos por su rareza relativa, inercia química, y por ser elementos monoatómicos.

Durante los 15 años siguientes al descubrimiento del helio por Ramsay, se realizaron considerables investigaciones sobre

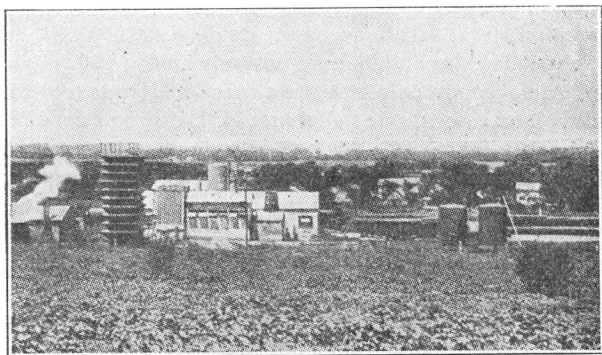


Figura 1.—Vista de la planta de la Helium Company en Dester (Kansas).

sus propiedades y lugares donde se encuentra. Se halló formaba parte en muy pequeñas dosis, de la atmósfera, de los gases de los manantiales minerales, de los gases volcánicos y en pequeñísimas proporciones del agua del mar, estando presente en la atmósfera en la cuantía de 1 por 185.000; hallándose muy pequeñas trazas en casi todas las rocas y minerales.

Dónde se encuentra.—En 1905, Cady y Mac Farlane, de la Universidad de Kansas, investigando un gas peculiar, no combustible, de Dexter, Kansas, hallaron que contenía 1,84 % de helio.

Este descubrimiento los condujo a examinar otros gases de la misma localidad y de otros lugares de Kansas, hallándose helio en todos.

Estas investigaciones se extendieron considerablemente y hoy día, casi todos los depósitos de gas natural del mundo, han sido ensayados buscando helio.

No obstante, solamente en los Estados Unidos y Canadá se han hallado depósitos con proporción suficiente de helio, para que su tratamiento resulte económico.

En Italia, sin embargo, hay ciertos gases emitidos con vapor de fumarolas de ácido bórico, que es posible tratar para recoger helio. Estos gases, después de la condensación del vapor consisten, principalmente en CO_2 , pero siendo este último fácilmente liquidable, no puede haber grandes dificultades técnicas para tratar el gas. Se estima podrán recojerse de 200.000 a 250.000 pies³ de helio diarios, de esta fuente.

En Canadá hay dos campos de gas que contienen una pequeña proporción de helio, el *Bow Island field* en Alberta, pocas millas al Norte de la línea de Montana y un campo en

Ontario al Norte del lago Erie. Ninguno de estos campos contiene una proporción de helio superior al 0,5 %. En las actuales condiciones no puede considerarse en esta Nación exista un gas, que contenga helio en proporciones comerciales.

En los Estados Unidos se halla el helio, en alguna escala, en la mayoría de los depósitos de gas natural. Hay algunos no obstante, en la costa del Pacífico, Luisiana y región de las montañas Rocosas que no contienen cantidades suficientes de helio apreciable por los métodos analíticos usuales.

Los gases naturales de diferentes campos y hasta de diferen-

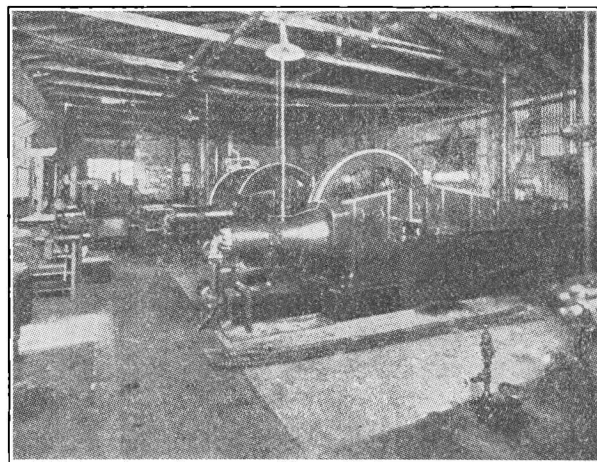


Figura 2.—Vista interior de la planta.

tes estratos geológicos en el mismo campo, pueden diferir ampliamente en composición química y en contenido en helio.

Origen del helio.—Los hechos relativos al origen del helio y la razón de su acumulación en ciertos depósitos de gas natural, no han sido puestos, enteramente, en claro. Hay varias teorías relativas al origen del helio, a saber.

1) La teoría radioactiva, que supone que el helio existente en los depósitos de gas natural, ha sido acumulado por desin-

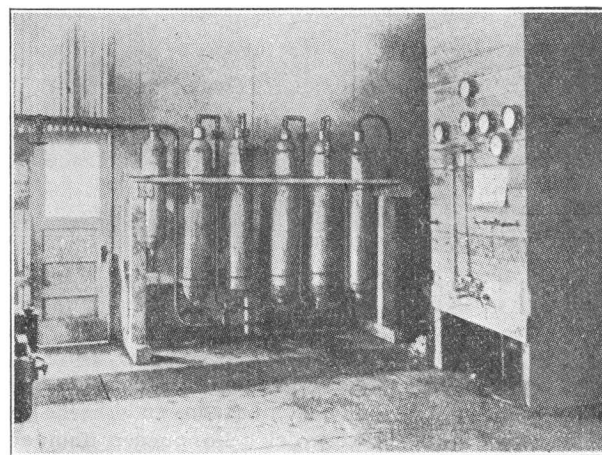


Figura 3.—Batería de secado de gas.

tegración radioactiva de minerales que contienen radio, distribuidos en las rocas sedimentarias

2) La teoría patrocinada por Rogers, según la cual el helio de los depósitos de gas natural, tiene un origen primordial y no es debido a la radio actividad. Es evidente la imposibilidad práctica de demostrar cuál de las dos teorías es correcta.

Rogers objeta a la teoría radioactiva, que la cantidad de elementos radioactivos necesarios para producir el volumen enorme de depósitos, sería mucho mayor del que se encuentra actualmente en la corteza terrestre.

Los hechos relativos a la acumulación del helio, son sencillos. Muchas investigaciones han probado que en la vecindad de fallas de rocas de granito contiene el gas natural de $\frac{1}{10}$ hasta 8 % (a veces) de helio, mientras el gas que se halla fuera de las superficies con fallas, es casi siempre bajo en helio.

La teoría desarrollada por el autor es, que el manantial original de helio está en las rocas cristalinas subyacentes de los depósitos sedimentarios, y que el helio con proporciones grandes de nitrógeno y anhídrido carbónico en el granito, se escurre en los depósitos sedimentarios por grietas y fracturas, difunde y emigra a través de las rocas estructurales hasta que queda detenido debajo de un casquete de roca impermeable.

Cantidad disponible de helio.—Parece haber entre los interesados en el progreso de la aeronáutica, recelos o dudas relativamente a la cantidad de helio disponible para el empleo en aeronaves. Los temores son completamente infundados. Una estimación reciente sobre el helio total disponible a la vista es aproximadamente la siguiente:

Kansas	2.000.000.000	de pies ³
Texas	3.000.000.000	» »
Colorado	2.000.000.000	» »
Otros Estados	3.000.000.000	» »

Esto hace un total de 10 mil millones, que empleado a razón de 10 millones anuales, duraría 1.000 años y 100 años con un consumo anual de diez veces mayor.

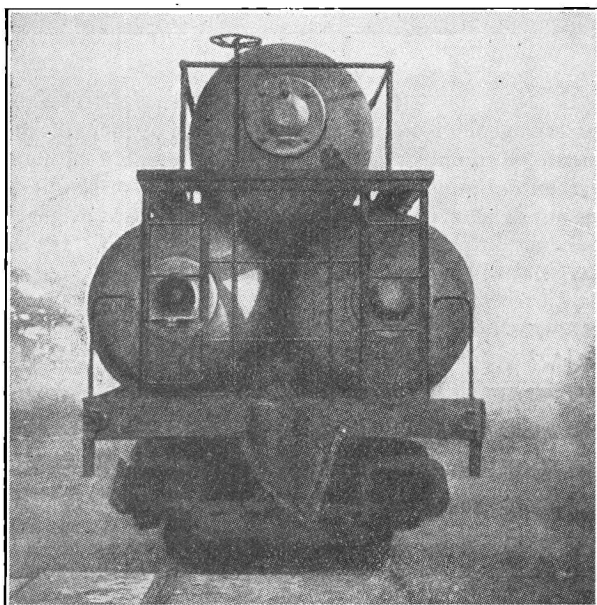


Figura 4.—Vista trasera del vagón para tanques de helio del Navy Department.

Producción: almacenaje y transporte.—Los métodos técnicos de producción de helio están basados en el hecho de que todos los gases, con excepción del helio, pueden liquidarse a temperaturas fácilmente obtenibles.

Siendo el helio el gas más difícil de licuar y tan refractario en este aspecto, que sólo ha sido transformado en líquido dos veces en el mundo, es fácil por simple proceso de licuación separarle de los demás constituyentes con que está asociado, quedando sólo el helio en estado gaseoso. (El trabajo original, completo, publicado en *Aeronautical Engineering* contiene descripciones de diversas plantas. Los primeros trabajos en la producción de helio partiendo de gas natural, fueron resumidos por A. Orroken *Mechanical Engineering*. Vol. 41 (1919).

Siendo necesario disponer de grandes volúmenes de helio, es menester disponer un almacenaje fácil. Hay tres métodos generales de almacenado.



Figura 5.—Almacenamiento a alta presión del helio en Lakehurst, antes de la cubrición.

1) Gasómetros. Un acumulador de este tipo de 6.000.000 de pies cúbicos, costará aproximadamente \$ 1.200.000.

2) Almacenado en tanques a presión media, esto es, a unas cuatro atmósferas. El almacenamiento de 6.000.000 de pies³ en recipientes de estas condiciones costaría unos \$ 560.000.

3) Almacenado en recipiente a presión elevada (140-150 atmósferas). La estación de Lakehurst N. J. dispone de este sistema. El costo para 6.000.000 de pies³ es de unos 400 mil dollars.

Así, parece que el método más económico de almacenar helio en depósito, para aeronaves, sería en tanques a alta presión de tamaño relativamente grande. Hay tres tipos generales de cilindros de esta clase.

1) Cilindros relativamente pequeños, capaces de almacenar aproximadamente 400 pies³ de helio cada uno. Deben estar conectados y ser maniobrados por una válvula común.

2) Tanques de tamaño medio, de 120 m. ~ de diámetro por 13,5 m. de longitud, que ordinariamente se entierran.

Este tipo de cilindro y el anterior son sin soldadura, forjados o taladrados.

3) El tercer tipo es de acero soldado, de unos 3 metros de diámetro por 30 metros de largo.

Estando situados los depósitos de helio a largas distancias de las bases de operación, es menester disponer de transporte fácil. Es éste uno de los problemas mayores en el uso del helio en aeronaves. El método usual ha sido emplear cilindros de

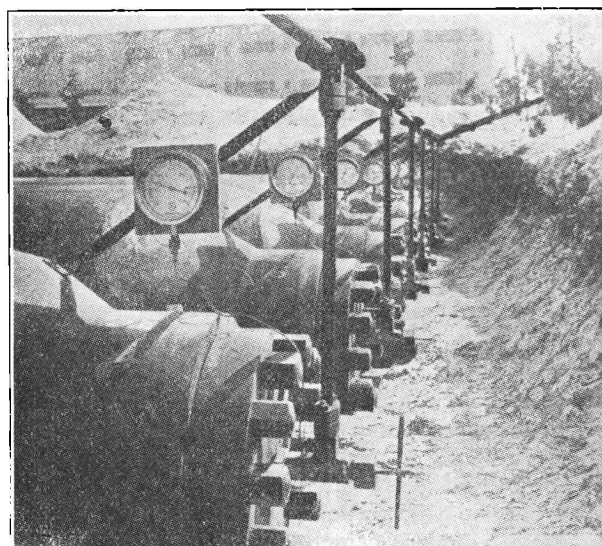


Figura 6.—Detalle de la planta de la fig. 5.

acero de aproximadamente $1 \frac{1}{2}$ pies³ de volumen interior. A una presión de cerca de 145 atmósferas pueden contener alrededor de 200 pies³ de helio. Cada cilindro pesa 125 a 135 libras, pudiendo colocarse unos 600 en cada coche de transporte. El autor da cifras de los costes de transporte.

Propiedades del helio.—Tiene el helio notables propiedades que le hacen uno de los más importantes gases industriales. No tiene color ni olor; su peso molecular es cuatro y es sólo ligeramente más pesado que el hidrógeno.

El helio es casi completamente inerte. No se logra hacerle entrar en asociación química con ninguna otra substancia, con la posible excepción del mercurio y el platino en condiciones especiales. No es soluble en los metales.

La solubilidad del helio en el agua y soluciones acuosas es aproximadamente mitad que la del nitrógeno, pero el grado de fusión o derrame es tres veces mayor. Por esta razón el

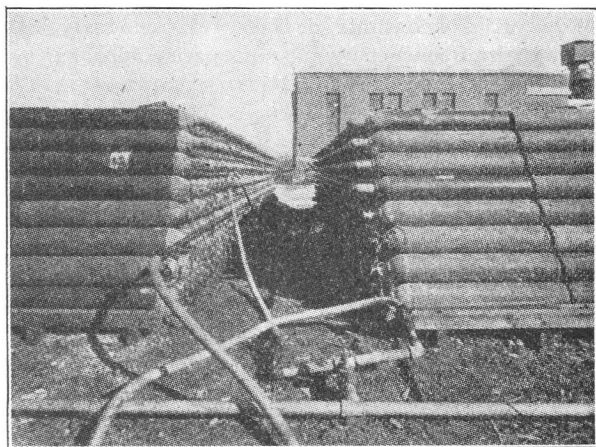


Figura 7.—Método de descarga del helio de pequeños cilindros en Lakehurst.

Dr. Elihu Thompson sugirió que el helio debe emplearse mezclado con oxígeno como atmósfera para buzos a grandes profundidades.

El peso de 1.000 pies³ de helio, bajo la presión normal, es 11 libras. El del aire, en las mismas condiciones, es 75 libras. Por ello, el efecto ascensional del helio es de unas 65 libras por 1.000 pies³. Las dos naves contratadas recientemente por el *Navy Department*, tendrán una capacidad de 6.500.000 pies³ y el efecto ascensional del helio en estas naves será superior a 422.000 libras.

Fuera del campo aeronáutico tiene el helio actualmente pocas aplicaciones. El inflado de balones de juguetería y los trabajos de investigación.

Empleo del helio en aeronaves.—La primera sugestión para emplear helio en la inflación de aeronaves se hizo en Inglaterra en 1914, obteniendo la idea, por parte de los oficiales del Ejército y la Marina Norteamericana, la mejor acogida cuando los E. U. entraron en la guerra. Se allegaron fondos y

se construyeron inmediatamente tres plantas experimentales, en las que se probó podía obtenerse el helio a un precio razonable. Así el Gobierno americano construyó una gran planta en Fort Worth (Tex.), que produjo 50.000.000 de pies³. Esta fábrica fué abandonada, construyéndose otra nueva de gran capacidad cerca de Amarillo (Tex.).

El empleo del helio en aeronaves presenta dos o tres problemas especiales, el principal de los cuales es el ahorro de gas. Es menester que las telas del aerona ve sean gruesas, para evitar pérdidas de helio, debiendo disponer de medios para evitar la salida del gas durante las maniobras. El primero de estos problemas se resuelve con el empleo de una película de batihojas como revestimiento de las celdillas de gas, y el segundo, mediante el uso de condensadores para recoger el agua de escape de las máquinas.

Suponiendo una nave de 6.500.000 pies³, el levantado total será 422.000 libras. La fuerza ascensional de la misma nave,

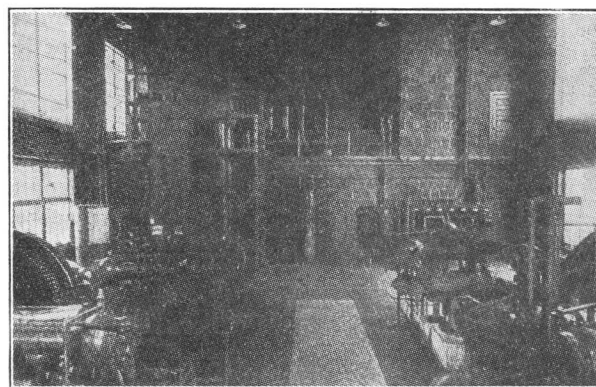


Figura 8.—Vista interior de la planta de purificación de helio, en Lakehurst.

empleando hidrógeno, es de 33.000 libras. Ensayos recientes han demostrado que puede usarse hidrógeno mezclado con helio hasta una proporción del 20 % en volumen, sin peligro de que la mezcla sea inflamable. Han sido inventados métodos de purificación para esta mezcla hidrógeno-helio sin peligro de explosión. Con la mezcla 80-20 de helio-hidrógeno, la fuerza ascensional para una nave de 6.500.000 pies³, sería 429.000 libras, lo que representa una ganancia sobre el helio sólo de poco más de tres toneladas.

Los requerimientos de helio para un aerona ve de 6.500.000 pies³ de capacidad, son, para el primer año, aproximadamente 13.100.000 pies³, quedando 9.100.000 pies³ al fin del año.

Para operaciones más importantes de aeronáutica es necesario una planta de purificación de helio. El coste es de unos 165.000 dollars. La experiencia indica que el helio de una nave, en las condiciones usuales de operación, debe ser purificado cuatro veces cada año.

El costo de purificación es, aproximadamente, un dollar por 1.000 pies³.