

signación de las secciones, especialmente las variantes del cuadro III.

CUADRO III

Primera variante.	Segunda variante.
Geografía, Navegación, Aviación. Ingeniería rural. Ingeniería industrial. Ingeniería civil.	Geografía, Navegación. Mecánica aplicada y construcción. Química aplicada (industrial y agrícola). Física industrial.

Cualquiera que sea el número de variantes que se adopte, el resultado será, aproximadamente, el mismo, es decir, que se introducirán en la Academia doce representantes de la física y química industriales, de la mecánica industrial, de construcciones civiles y de la química aplicada á la industria y á la agricultura.

La única diferencia es que en la primer variante las artes industriales estarían agrupadas en mecánica y física y química; con la segunda solución se daría más amplia participación á la ingeniería civil, es decir, á las construcciones civiles, y una participación bastante mayor á la agricultura, sin limitarlo á la química agrícola y á la fisiología aplicada.

La primera solución está de acuerdo con las ideas de M. Le Chatelier, dando una importancia especial á la ciencia ó economía industrial, es decir, al arte de combinar las diferentes ciencias para su aplicación á la industria.

Con la combinación de las tres soluciones que acabamos de indicar para las secciones de ciencias aplicadas, podrían formularse otras variantes. Cualquiera de ellas que se adoptase sería suficiente para obtener un resultado realmente satisfactorio y una modernización de la Academia, haciendo que las ciencias industriales ocupasen su legítimo puesto, y todo con un pequeño aumento en el número de los académicos, puesto que, en definitiva, no habría más que dos nuevas secciones, contando en total doce miembros más. Este aumento podía, por lo demás, compensarse en parte con la reducción á ocho, en vez de diez, de la sección de académicos libres, haciéndose la extinción progresivamente.

También los nombramientos en las secciones podrían hacerse progresivamente á medida que se presentasen candidatos que reuniesen el elevado valor científico necesario. En esta forma, el número total de académicos sería de 84 ó de 90, comprendiendo los seis no residentes y los dos secretarios perpetuos.

Si se considera excesivo el número de doce miembros para las secciones de *ciencias industriales*, podría ser suficiente una sola sección, añadida á la división de las ciencias matemáticas del cuadro I.

En fin, si no se quiere efectuar un cambio de las actuales grandes divisiones de la Academia, podrían dejarse fuera como las dos secciones de académicos libres y no residentes, las dos secciones de ciencia aplicada que figuran en el cuadro II y que en rigor podrían fusionarse en una. Esta adición podría realizarse con los mismos procedimientos administrativos que han sido empleados en la creación de la sección de miembros no residentes.

En todo caso, la forma propuesta podría obtenerse sin gran aumento de los gastos consignados en el presupuesto del Ministerio de Instrucción pública, y el eminente sabio

que desempeña este Ministerio, que ya desde hace mucho tiempo ha dado pruebas del interés particularmente activo que dedica á la ciencia industrial y al desarrollo de los inventos y de la industria francesa, tendría ocasión de unir su nombre á esta útil reforma. Esta última no podría por menos de ser muy bien recibida por todos los centros industriales, y aumentaría el interés que los industriales dedican á las investigaciones científicas. Existe la queja en Francia de que estos últimos no desean, como en otros países, los títulos científicos; en realidad es que estos títulos son de muy difícil adquisición para ellos, tanto el de doctor en ciencias como el de miembro de la Academia de Ciencias; se halla con facilidad la fruta verde cuando no se puede alcanzar. Por el contrario, ofreciendo á los industriales que hayan sabido distinguirse en las ciencias aplicadas un número de plazas suficiente en la Academia, se les daría la atracción de practicar por sí mismos la ciencia y el deseo de dirigir á sus hijos ó colaboradores más distinguidos hacia los estudios científicos.

En fin, principalmente, se les daría ocasión de hacerse oír en las deliberaciones de la Academia que se relacionen con los problemas industriales. En esta forma se daría mayor autoridad á la Academia en lo referente á la industria y podría ser el guía, y, por decirlo así, la tutora de los grandes establecimientos de instrucción técnica, especialmente de las facultades técnicas cuya creación se propone desde hace algún tiempo, la cual se facilitaría mucho si se supiera que la dirección de estas nuevas instituciones estaría sometida á una inspección realmente competente de una corporación independiente que comprende á la vez sabios puros y sabios industriales, y que no está dispuesta á sacrificar el interés general del país á ambiciones ó á intereses particulares.

H.

EL HORNO ELÉCTRICO RENNERTFELT PARA LA FUSIÓN DEL ACERO

POR

L. DESCROIX

Ingeniero consultor.

Desde hace algún tiempo se habla de un horno eléctrico que, á juzgar por el éxito conseguido en los primeros ensayos, parece estar llamado á adquirir gran resonancia. Las patentes adquiridas por el inventor, el sueco Ivar Rennerfelt, son relativamente recientes (especialmente la patente inglesa núm. 7.367, de 26 de Marzo de 1912), y ya existen muchos aparatos en servicio. Los experimentos practicados en Suecia, en Hallstahammar, fueron tan satisfactorios, que al cabo de un año quedó instalada en dicha localidad una fábrica de acero eléctrica con cuatro hornos de este sistema. En el presente artículo hacemos la descripción de este aparato, indicando las principales ventajas que presenta.

*
* *

Este aparato se presenta en la actualidad como un horno de poca capacidad, destinado especialmente para la fabricación del acero al crisol, ó para el acero fundido, pero sirve también para el refinado de la fundición; para la fusión de las aleaciones férreas y especiales, compren-

dido el bronce, y también para la industria del vidrio. Puede emplearse igualmente para pequeñas cargas de cien kilogramos, como para cargas de mayor importancia.

En la forma actualmente concebida, es un horno cilíndrico de eje horizontal, cuya oscilación se efectúa alrededor de este eje, bien sea sobre goznes, ó bien, más sencillamente, sobre ruedecillas. La cubierta de palastro de acero está recubierta interiormente con un revestimiento de ladrillos de silicio, de magnesio y aun de carbón, según el tratamiento que haya de darse al metal.

La corriente llega al centro del horno por medio de dos electrodos horizontales que penetran por dos puntos opuestos del horno, bien atravesando los fondos, bien á través de la pared cilíndrica y entre cuyos puntos está colocado un electrodo vertical central. En Hallstahammar se emplea corriente trifásica, convertida en difásica por un transformador Scott; cada uno de los electrodos horizontales está unido á una fase, y el electrodo vertical al punto neutro. (En caso de alimentación con corriente continua por tres hilos, este último electrodo se pondría en conexión con el hilo neutro.)

El efecto obtenido con esta disposición de los electrodos es muy particular y característico del nuevo horno; los dos arcos que surgen de los electrodos horizontales, son de cierto modo rechazados por el electrodo vertical, y por consecuencia se curvan hacia la carga del horno, afectando el conjunto la forma de lanza con la punta dirigida hacia abajo. Esto es lo que constituye la eficacia de este aparato, porque según sus promovedores es el mejor sistema de enviar el calor sobre el baño metálico, sin que se sumerjan jamás los electrodos. La altura del arco por encima del baño es por lo demás reglable, y ordinariamente suele ser de 15 á 30 centímetros. Para este efecto, los tres electrodos pueden ajustarse verticalmente, mientras que los dos electrodos horizontales son movibles horizontalmente. Estos últimos, ligeramente inclinados, están montados sobre *blocks* obturadores soportados por dos carretes por medio de cables que permiten la regulación de altura, mientras que la regulación horizontal, ó más exactamente, según el eje de los electrodos, se obtiene por un mecanismo de avance con volante de mano y cremallera.

El horno está provisto de una puerta de carga, de guillotina, de cierre impermeable.

Los aparatos pequeños se basculan y vacían á mano por medio de un volante y de un tren de engranajes, que obran por medio de un piñón, sobre un sector dentado.

Existen dos variantes de construcción: en la primera el horno cilíndrico está montado sobre goznes, y por su forma general recuerda un poco la de un transformador Bessemer, con la única diferencia de que su eje se tiene horizontal durante la operación; en la otra variante el cilindro oscila alrededor de su eje y gira por su periferia sobre ruedecillas.

Merece la pena dar algunos detalles sobre la construcción del revestimiento interior; se ejecuta de la siguiente manera: Contra la cubierta de palastro de acero se aplica primeramente un espesor de 13 milímetros, de cartón de amianto, después una capa de ladrillos refractarios, cuyo conjunto constituye la zona mala conductora del calor; en el interior de este guarnecido es sobre el que se aplica á continuación el revestimiento de silicio, magnesio ó carbón, constituido por círculos de ladrillos de diferente espesor, de modo que se consiga un laboratorio ovoide. El

orificio de carga y de salida está también guarnecido, y su revestimiento está sólidamente ligado al del horno. Para el paso de los electrodos existen pequeñas aberturas anulares.

La forma circular del horno presenta la ventaja de que la bóveda incandescente reverbera sobre la carga la mayor parte del calor radiado por los arcos. Por otra parte, estos últimos están lo suficientemente alejados del revestimiento para evitar su fusión. Se ha observado, además, que la sombra proyectada por el electrodo vertical ejerce una influencia protectora sobre la zona más sensible de la bóveda, que es la periferia del orificio de paso de este electrodo.

Los electrodos son movibles dentro de las envolturas de bronce fosfórico, aislados y refrigerados por agua, con los que están en conexión los cables conductores de la corriente. La transmisión de ésta á los electrodos está asegurada por medio de frotadores de tejido de latón llenos de grafito pulverulento. Estos electrodos son de grafito Acheson fileteados y taladrados en ambos extremos, de tal modo que cuando uno de ellos está usado se le prolonga uniéndolo á su extremo un electrodo nuevo. En los hornos de pequeña capacidad pueden maniobrase á mano y sin peligro los electrodos; en los hornos medianos esta maniobra se efectúa por medio de un aparato de mano y en los grandes automáticamente.

El diámetro de los electrodos varía, bien entendido, según la capacidad de los hornos, desde 38 milímetros para una carga de 250 kilogramos, ó sea para una producción diaria de 1.500 kilogramos, á 100 milímetros para una carga de 2.500 kilogramos; producción diaria 15 toneladas.

El pequeño electrodo Acheson de 38 milímetros soporta sin inconveniente una densidad de corriente de 70 amperios por centímetro cuadrado. Según las dimensiones del torno, la tensión varía entre 60 y 120 voltios. Cuando se opera sobre una carga fría, la resistencia entre los electrodos varía constantemente; pero se hace más regular, así como la intensidad, desde que se ha formado el baño. En este momento se regulan fácilmente los electrodos horizontales para que sus consumos sean iguales; en cuanto al electrodo vertical, raramente es necesario tocarle. Una vez que los arcos están formados, para compensar el desgaste de los electrodos horizontales basta con avanzarlos dentro del horno unos 25 milímetros por hora. El consumo de electrodos Acheson es menor de 3 kilogramos por tonelada de acero en los hornos pequeños; en los grandes es, naturalmente, menor.

Hemos indicado que el horno puede funcionar partiendo de una carga fría; en este caso, se le temple primeramente antes de recibir el metal frío introducido á mano con los adicionales necesarios.

Durante la carga se hace retroceder á los electrodos para preservarles de todo deterioro accidental. Terminada la carga se les coloca en su posición normal, cerrando cuidadosamente la puerta y se da la corriente. La carga funde rápidamente y se cubre de una ligera capa lechosa muy fluida.

La agitación natural del baño es suficiente y el desprendimiento de gases crea en el horno una atmósfera neutra ó reductora en la que no penetra el aire exterior. Con este objeto se tiene la puerta herméticamente cerrada, hasta que se haya terminado el tratamiento. Los añadidos

finales se hacen parte en el horno y parte en el cucharón.

La carga se evacua rápidamente, el acero pasa al cucharón á una temperatura muy superior á la del metal fundido en el horno Martín.

Entonces, si es necesario, se repara la superficie del fondo con dolomía ó tierra refractaria, y se coloca en seguida una nueva carga.

Un fundidor y dos ayudantes ó aprendices son suficientes para servir un horno con producción diaria de 3 á 6 toneladas. En cuanto á la duración del revestimiento, todavía no puede establecerse de un modo cierto; sin embargo, se ha establecido que bóvedas de materiales básicos han soportado 102 cargas sin necesitar reparación, mientras que bóvedas de materiales ácidos solamente han soportado 174. Respecto á esto haremos observar que estas reparaciones del revestimiento se facilitan con el fraccionamiento de la cubierta metálica en varias piezas ensambladas por medio de pernos.

Los resultados de explotación del horno Rennerfelt varían según el metal tratado, y casi no es posible generalizar las comprobaciones hechas.

Una fábrica sueca que produce acero para herramientas, cuchillos, sierras, etc., emplea un horno ácido de 600 kilogramos, guarnecido con ladrillos de silicio, que da las mismas reacciones que un crisol. La calidad del producto depende de la de la carga. Se dispone de una energía de 100 kilovatios, y el consumo es de 800 á 1.000 kilovatios-hora por tonelada de acero producida.

La carga se hace en frío. El baño se recubre prontamente de una ligera capa lechosa, y en la superficie se desarrollan las llamas rojas que parten del arco y se extienden en todas direcciones hasta las paredes. No existe ebullición, solamente un movimiento lento del metal que facilita la ascensión á la superficie de las partículas de escorias que se forman. La atmósfera del laboratorio es reductora y la producción de gases es suficiente para prevenir toda entrada de aire oxidante.

Otra fundición de acero, también en Suecia, trabaja con ayuda de un horno con revestimiento de magnesio. La carga se compone de fundición, desperdicios de acero, mineral y castina. No se dispone casi más que de 90 á 100 kilovatios.

La fusión necesita cerca de hora y media, y la carga se efectúa en menos de cuatro horas. El refinado puede llevarse hasta el grado deseado, con la evacuación repetida de la escoria.

En esta fundición se comprueba la gran ventaja de la fusión eléctrica, por el hecho de que la mayor fluidez del acero más caliente permite verter con la mayor perfección los vaciados ligeros y complicados. Este resultado, después de experimentar durante seis meses, dió lugar á la construcción de otros dos hornos de 2.500 kilogramos de capacidad y 1.250, respectivamente. Estos tres hornos, servidos cada uno por seis obreros, producen diariamente de 20 á 25 toneladas de acero.

Se calcula que es preciso contar con un kilovatio-año para una producción anual media de 8 á 10 toneladas de acero. Si es evidentemente deseable que la corriente se adquiera lo más barata posible, sin embargo, estas cantidades permiten una fabricación remuneradora, aun cuando el precio sea relativamente elevado.

Acabamos de hablar de hornos de 600 kilogramos; sin embargo, se construyen ya de tres toneladas de capacidad

y existe la idea de construir grandes hornos «múltiples» añadiendo varios grupos de electrodos espaciados de 0,75 á 1,20 metros los unos de los otros. Uno de estos hornos con cuatro grupos de electrodos daría una longitud de baño de 6 metros, en cuya superficie se repartiría el calor uniformemente; podría tratarse en él una carga de 25 á 30 toneladas. Uno de 9 metros, con el mismo diámetro, serviría para 40 toneladas.

Estos grandes hornos serán de una utilidad segura en el refinado de las cargas de acero preparadas al Bessemer ó al horno Martín, ácido ó básico.

Para precisar las indicaciones precedentes en lo que respecta á las producciones posibles en los nuevos hornos, según sus constructores, citaremos los siguientes datos, basados sobre la práctica ya adquirida en Suecia:

CUADRO I

Producción anual por kilovatio-año.

<i>Hornos pequeños.</i>	<i>Toneladas.</i>
Acero para herramientas.....	8
Acero para vaciados.....	9
Fundición fundida y refinada.....	22
<i>Hornos grandes.</i>	
Acero líquido de transformador ó de horno de suelo, refinado.....	40

Un horno Rennerfelt básico de 600 kilogramos produce diariamente tres toneladas de acero dulce. El precio de coste de la tonelada de acero en el cucharón se establece en la forma siguiente:

CUADRO II

Precio de coste de la tonelada de acero dulce.

	<i>Pesetas.</i>
1,025 kilogramos de hierro viejo, á 82,50 pesetas la tonelada.....	84,55
Recarburante y añadidos.....	3,90
Electrodos, 3 kilogramos.....	4,70
Mano de obra.....	12,50
Reparaciones y reconstrucciones.....	6,25
Amortización (10 por 100).....	3,15
Derechos de licencia.....	5
Varios.....	2,50
<i>Total.....</i>	<i>122,55</i>
$\frac{1}{10}$ kilovatio-año, á 45 pesetas.....	5
<i>PRECIO DE COSTE DE LA TONELADA.....</i>	<i>127,55</i>

Si el kilovatio-año cuesta 90 pesetas, el acero resulta á 132 pesetas 50 céntimos la tonelada; si cuesta á 180, á 142,50, y si cuesta á 360, á 160,50.

Los gastos de instalación del horno son por lo demás muy reducidos; con un puente giratorio ó una grúa de tres toneladas de fuerza, es suficiente para maniobrar un horno de dos toneladas de contenido, o sea de 10 toneladas de producción diaria.

Entre las muchas ventajas que se atribuyen á este horno es preciso insistir más especialmente en las que tienen origen en el método de empleo de la energía eléctrica.

Primeramente el aparato funciona indistintamente con corriente continua ó con corrientes alternas de todas frecuencias. En segundo lugar, la posición de los arcos encima del nivel del baño facilita la repartición uniforme del calor sobre toda la superficie de este baño y la radiación

por la bóveda; protege también á los electrodos contra la acción oxidante de la escoria y permite la alimentación del horno con materiales fríos sin que sufran los electrodos; en fin, gracias á esta elevación, no es necesario interrumpir la corriente para el vaciado.

La ebullición del baño durante la decarburación de la fundición por el mineral no influye en el gasto de energía.

Los electrodos pueden consumirse integralmente y reemplazarse continuamente, uniendo sus extremos sin cortar la corriente.

La regulación de la corriente es muy sencilla; basta con inspeccionar de cuando en cuando los electrodos. La separación entre éstos y el baño puede modificarse sin variar la temperatura ni cortar la corriente.

El desacuñado de fase es débil; se llega á un valor de

coseno $\phi = 0,97$, correspondiente á 50 períodos, á un ángulo de desacuñado de 14 grados. La carga del horno no es, pues, notablemente inductiva.

En las horas del máximo en la central es posible detener la marcha del horno y de que no funcione más que durante las horas en que la carga es, por lo demás, reducida. Para sostener el horno caliente basta con el 15 por 100 de la corriente de plena carga en los grandes aparatos y del 30 por 100 en los pequeños.

Á esto se añaden otras ventajas técnicas y económicas que creemos inútil enumerar; lo que hemos dicho nos parece suficiente para poner de manifiesto lo interesante que resulta este nuevo avance de la técnica de la electrosiderurgia.

II.

REVISTA EXTRANJERA

El túnel submarino entre Francia é Inglaterra en el Canal de la Mancha.

La comunicación entre Francia é Inglaterra por medio de un túnel submarino parece que entra en vías de realización, y á este importante asunto dedica el Ingeniero de Artes y Manufacturas, M. A. Dumas, un extenso artículo en *Le Génie Civil*, del que hacemos un extracto á continuación.

Después de algunas disquisiciones sobre la influencia que ha ejercido la guerra actual en el resurgimiento del proyecto de unión submarina entre Francia é Inglaterra, pasa el autor á hacer un resumen histórico de las vicisitudes por que ha pasado este proyecto desde 1802, dedicando un recuerdo al verdadero iniciador del túnel, el Ingeniero francés Thomé de Gamond que, de 1834 á 1866 elaboró seis proyectos de comunicación á través del paso de Calais. Este Ingeniero murió el 2 de Febrero de 1875, en el momento en que empezaba á entreverse la realización de su idea, puesto que en los dos lados del Canal de la Mancha se constituían Sociedades financieras para llevar á cabo la construcción del túnel.

A estas Sociedades y á las obras por ellas realizadas dedica M. Dumas bastante espacio; nosotros nos concretaremos á decir que por el lado francés, la Compañía del túnel ha gastado más de 2 millones de francos en trabajos preparatorios: en pozos, en sondeos y en hacer una galería de ensayo que se ha dirigido bajo el mar en una longitud de 1.839 metros. En el lado inglés, se constituyeron, desde 1872, tres Sociedades que realizaron algunos trabajos preparatorios, concluyendo por fusionarse en una sola que conserva todos los poderes necesarios para la construcción de la mitad inglesa del túnel, y que no espera más que la autorización del Parlamento británico y que es la Channel Tunnel, C.^o Limited.

Hechas estas consideraciones pasa M. Dumas á hacer la

DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO.—Los inmensos recursos aportados en estos últimos años por los progresos de las ciencias, principalmente en lo que se refiere á la electricidad, han permitido que se cuente con procedimientos de ejecución y de explotación con los que ni se podía soñar siquiera en 1875. De aquí ha resultado un nuevo proyecto, que si no es igual al de Thomé de Gamond en el conjunto, sí lo es, por lo menos, en los detalles, y cuyo colaborador más importante, no sólo desde el punto de vista técnico, sino desde el económico, es el eminente Ingeniero M. Albert Sartiaux.

Condiciones geológicas.—Este proyecto tiene por punto de

partida los estudios geológicos de M. Breton, confirmados por los de Sir John Hawkshaw y las investigaciones geológicas de los Ingenieros de Minas MM. Potier y de Lapparent que han efectuado en el estrecho más de 7.000 sondeos, mediante los cuales se ha podido continuar la carta geológica del estrecho con gran precisión.

Sin entrar en las amplias explicaciones que contiene el artículo, y que parten de una época anterior á la existencia del istmo que unía en el período mioceno el NO. de Francia con el SE. de Inglaterra (fig. 3.^a), diremos que el proyecto de M. A. Sartiaux tiene por característica esencial el mantenerse constantemente en una capa de creta, cuyo espesor es de 60 metros, aceptando, gracias á la tracción eléctrica, las curvas y declives que se ven en el trazado y en el perfil longitudinal (figuras 1.^a y 2.^a) y que permiten no abandonarla, adaptándose á las inclinaciones y á los repliegues de dicha capa. El punto alto del túnel no podrá, naturalmente, coincidir con el medio de la obra en el eje del estrecho, lo que hubiera facilitado, como para los túneles terrestres, la evacuación de los escombros y la corriente de las aguas, porque operando de este modo, los puntos de partida, bajo la tierra firme, vendrían á estar á más de 200 metros por debajo de la superficie del suelo, lo que exigiría avenidas subterráneas extremadamente largas para enlazar con los ferrocarriles existentes de una y otra parte.

Como lo muestra el perfil longitudinal (fig. 1.^a), el túnel está proyectado con cuneta y completado, para la elevación de todos los detritus y la corriente de las aguas, por dos galerías especiales, una de cada lado, que irán siempre descendiendo desde el medio del túnel hasta el extremo en tierra firme, donde se encontrarán los pozos de evacuación. Gracias á esta solución se podrá, utilizando estas galerías de corriente, atacar la construcción del túnel propiamente dicho en tantos puntos como se quiera.

Trazado.—El trazado últimamente adoptado partirá de las cercanías de Marquise (fig. 2.^a), donde se establecerá la estación de aduana de unión con la línea de Boulogne á Calais y se dirigirá primero hacia el Norte. El túnel comenzará á seis kilómetros del origen y se proseguirá en alineación recta hasta la costa, al Sur del pueblo de Sangatte (kilómetro 17), donde volverá á tomar la dirección Este-Oeste hasta el kilómetro 37, es decir, próximamente á dos kilómetros más allá del punto medio del estrecho (kilómetro 35).

Lejos de ser rectilíneo el trazado bajo el estrecho comprenderá curvas, contracurvas y alineaciones rectas. Llegará así un