

Precios de subscripción

España: año	10 pesetas
Extranjero: año	15 "
Número suelto	1 "

TÉCNICA

REVISTA TECNOLÓGICO - INDUSTRIAL

Redacción: Pelayo, 9
Teléfono 541 A.
Administración: Lauria, 26
Teléfono 514 S. P.
B A R C E L O N A

AÑO XLIII

SEPTIEMBRE 1920

NÚM. 33

LOCOMOTORAS MODERNAS PARA TRENES EXPRESOS DE LOS FERROCARRILES DE M. Z. A.

SUMARIO. — Preliminares. — Tipos de locomotoras afectadas al servicio de los trenes expresos durante los últimos veinte años. — Composición de estos trenes y aumento sucesivo de su peso como causa determinante de la creación de nuevos tipos de locomotoras de potencia creciente. — Distintos medios que han permitido obtener este aumento de potencia en las locomotoras. — Marchas comparadas de los principales expresos en la actualidad y veinte años atrás. — Reducidos aumentos obtenidos en las velocidades comerciales de estos trenes y causas a que esto obedece. — Descripción de las locomotoras serie 1400, actualmente en construcción en los talleres de «La Maquinista Terrestre y Marítima». — Sucinta crítica de los sucesivos tipos de locomotoras enumerados. — Conclusiones.

I. — PRELIMINARES

LA construcción de una serie de cincuenta locomotoras destinadas al servicio de los trenes de viajeros y en particular al de los trenes expresos de la Compañía M. Z. A., la primera de las cuales acaba de salir de los talleres de «La Maquinista Terrestre y Marítima», de esta capital, al frente de cuyos servicios técnicos se hallan eminentes Ingenieros Industriales compañeros nuestros; el constituir estas locomotoras, en nuestra opinión, el tipo más adecuado a los servicios a que se las destina, de todos los que sucesivamente la Compañía M. Z. A. ha puesto en circulación desde el año 1901, en que emprendió la renovación de su material de tracción, figurando estas máquinas como las locomotoras de mayor potencia que circularán por España y entre las de más potencia de toda Europa, creemos son todos ellos motivos suficientes para justificar la publicación de este artículo, teniendo la convicción de que por la índole especial del tema tratado encontrarán algo interesante tanto los técnicos como los profanos en la materia.

Pocos son, realmente, los asuntos que tanto interesan a unos y otros como este de los ferrocarriles, y en parte tiene su explicación. En efecto: raro ha de ser el individuo que, sin conocimiento más o menos profundo de la materia, se aventure a discutir acerca de la marcha de una determinada industria; la de la obtención del ácido nítrico, pongamos por caso. En cambio, casi todos se creen autorizados, por el

mero hecho de haber tomado el tren alguna vez, a emitir su opinión sobre el particular, indicando las soluciones más peregrinas para cualquiera de los múltiples e intrincados problemas que se presentan en la industria de los transportes por ferrocarril.

Conociendo, pues, el interés que este asunto despierta en los unos, con justificada razón, y en los otros, podríamos decir, como aficionados, creemos que unos y otros verán con simpatía la recopilación de los datos que transcribimos a continuación con unos ligeros comentarios, esperando que la forma bajo la cual presentamos el presente artículo lo hará menos árido que si nos hubiésemos ceñido únicamente a la descripción del último nuevo tipo de locomotoras, cuyas características podrán apreciarse aún mejor después de dar una breve reseña de los tipos que las han precedido.

Creemos interesante hacer notar, ante todo, que tratándose de una red de ferrocarriles cuyas líneas, así principales como secundarias, presentan perfiles longitudinales bastante accidentados, resulta muy difícil crear un tipo de locomotora exclusivamente destinado a remolcar una sola clase de trenes como son los expresos. Por esta causa el título que encabeza este artículo estaría más conforme con la realidad redactado en esta forma: «Locomotoras modernas para trenes de viajeros, etc.», y tanto es así, que cada uno de los tipos de locomotoras que a continuación enumeraremos, han prestado el servicio de los trenes expresos conjuntamente con el de los trenes de viajeros llamados correos, ómnibus

y hasta el de los trenes mixtos de viajeros y mercancías.

Hace sólo algunos años nos hubiera parecido lo que acabamos de indicar una forma muy poco racional de distribuir los servicios de las máquinas, pues entonces quedaban bien delimitadas las características de las locomotoras destinadas por una parte, a los trenes expresos o rápidos (ruedas motrices de gran diámetro, esfuerzo de tracción reducido y cuatro ruedas acopladas solamente, en la mayoría de los casos), y por otra al de los trenes de mercancías cuyas características eran completamente opuestas a las anteriores (ruedas motrices de pequeño diámetro, esfuerzo de tracción elevado y, generalmente, ocho ruedas acopladas). Entre estos dos tipos extremos se encontraban tipos intermedios destinados a remolcar los restantes trenes: directos, correos, ómnibus, ligeros, etc.

En las locomotoras modernas de gran potencia aquella delimitación tan marcada va esfumándose, principalmente en países de redes ferroviarias con perfiles accidentados, como es el nuestro.

¿Cuál es la causa del cambio que se ha operado? La contestación es muy sencilla. En efecto: años atrás y al construir un tipo de locomotora destinado a remolcar los trenes expresos, como que el tonelaje de éstos era sumamente reducido, y su número más reducido todavía, debido a no haberse sentido aún la necesidad de viajar con toda la rapidez posible, representada entonces por estos trenes, sino en una reducida proporción, se partía del supuesto de que se haría trabajar a estas máquinas para los expresos, con gran preponderancia de uno de los dos factores (velocidad) cuyo producto representa la potencia de la máquina sobre el otro factor (esfuerzo de tracción), sucediendo el caso inverso al tratarse de una locomotora destinada al servicio de los trenes de mercancías. Este punto de vista, al proyectar una locomotora, daba por resultado hacer incompatible cada uno de estos dos tipos de locomotoras con el servicio de trenes de la categoría opuesta a aquélla para la que habían sido estudiadas, por las pésimas condiciones en que hubieran realizado tales servicios. En cambio, actualmente no es raro ver trenes expresos cuyos pesos alcanzan cerca de 400 toneladas (por ejemplo el de Barcelona a Madrid), y para que su arrastre sea posible necesitamos, ante todo, disponer de locomotoras de elevado peso adherente, lo cual no podemos lograrlo más que disponiendo mayor número de ejes motores o acoplados, adoptando primeramente el tipo de tres ejes acoplados en lugar de los dos que presen-

taban corrientemente las máquinas antiguas para trenes expresos, y aun durante los últimos años se ha pasado de tres ejes acoplados a cuatro, pudiendo decir que este tipo ha quedado aceptado hoy día definitivamente para los trenes de viajeros en líneas accidentadas, lo cual representaba antiguamente una de las principales características exclusivas de las locomotoras para trenes de mercancías. Pero aun encontramos más analogías entre las modernas locomotoras para trenes de viajeros y las antiguas para mercancías, y nos referimos al diámetro de las ruedas motrices que vemos tiende a disminuir favoreciendo el esfuerzo de tracción que en igualdad de condiciones está en razón inversa de aquella dimensión.

Como consecuencia de lo apuntado, podemos sentar que: *En la locomotora moderna para trenes expresos que circulan por líneas accidentadas, debido al creciente peso de los mismos, adquiere preponderancia el factor esfuerzo sobre el de velocidad, pero como este último si no ha aumentado mucho tampoco ha disminuído, sino que por lo menos conserva su antiguo valor absoluto ya elevado, resulta que ella debe ser capaz de desarrollar esfuerzo de tracción y velocidad elevados, por lo que su potencia, producto de estos factores, ambos elevados, deberá ser aún más elevada, y como no existe máquina de vapor potente sin generador potente, de aquí que estos tipos de máquinas se construyan con enormes calderas que queda como la característica que más llama la atención de la locomotora moderna.*

II.—TIPOS DE LOCOMOTORAS AFECTADOS AL SERVICIO DE LOS TRENES EXPRESOS DURANTE LOS ÚLTIMOS VEINTE AÑOS

Hasta principios de este siglo las locomotoras que remolcaban los trenes expresos en las líneas principales de la Compañía M. Z. A. (Red Catalana) ¹, como son los de Zaragoza a Barcelona por Reus y San Vicente y de Barcelona a la frontera francesa (Barcelona-Portbou-Cerbère), eran las de la serie 151 a 166, construídas de 1887 a 1889 por la fábrica inglesa de Sharp Stewart and C. para la antigua *Compañía de los ferrocarriles de Tarragona a Barcelona y Francia*, hoy fusionada con la de M. Z. A.

¹ En lo que seguirá nos referiremos especialmene a las líneas de la Compañía M. Z. A. comprendidas en la *Red Catalana*, ya que por haber prestado servicio en estas líneas podremos hablar con mayor conocimiento de causa.

Estas máquinas del tipo expresado por la notación 2-4-0 (es decir, dos ruedas libres en la parte anterior de la máquina, seguidas de otras cuatro acopladas y motrices, no situadas delante de rueda libre alguna), cuyas líneas exteriores recuerdan netamente el tipo de locomotora inglesa con sus cilindros y las distribuciones interiores al bastidor, presentan las siguientes características principales:

Locomotoras serie 151-166

(p)	Timbre de la caldera o presión de régimen	10 ks. / cm. ²									
(g)	Superficie de la rejilla	1,97 m. ²									
	Superficie de calefacción	<table border="0" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr> <td style="font-size: 2em; vertical-align: middle;">{</td> <td>Hogar (f)</td> <td>8,84 m.²</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Tubos (t)</td> <td>96,45 m.²</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Total</td> <td>105,29 m.²</td> </tr> </table>	{	Hogar (f)	8,84 m. ²		Tubos (t)	96,45 m. ²		Total	105,29 m. ²
{	Hogar (f)	8,84 m. ²									
	Tubos (t)	96,45 m. ²									
	Total	105,29 m. ²									
(c)	Superficie de calefacción reducida $(f + \frac{t}{3})$	40,99 m. ²									
	Cilindros	<table border="0" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr> <td style="font-size: 2em; vertical-align: middle;">{</td> <td>Diámetro interior</td> <td>0,457 m.</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Carrera del émbolo</td> <td>0,610 m.</td> </tr> </table>	{	Diámetro interior	0,457 m.		Carrera del émbolo	0,610 m.			
{	Diámetro interior	0,457 m.									
	Carrera del émbolo	0,610 m.									
	Diámetro de las ruedas motrices	1,711 m.									
	Potencia de la caldera ($K \sqrt{p g c}$)	620 HP.									
	Peso adherente	27 280 kgs.									
	Id. locomotora en servicio	38 660 »									
	Id. id. con su tender	61 810 »									

Vamos a examinar ahora en qué condiciones podrían verificar estas máquinas el servicio de aquellos trenes expresos.

Ante todo haremos observar de nuevo que el trazado de aquellas líneas es bastante accidentado, especialmente la línea de Barcelona a Zaragoza, en donde se encuentran numerosas y prolongadas rampas de 14-15 ‰ y excepcionalmente de 18 y hasta de 21 ‰ con curvas frecuentes de 500 m., 400 y aun 350 m. de radio.

El peso que por el año 1900 arrojaba la composición de estos trenes era de 110 a 120 toneladas (no incluido en este número los pesos de la máquina y del tender).

Para analizar el problema de la tracción de estos trenes nos convendrá considerar separadamente las *secciones de perfil fácil* y las *secciones de perfil accidentado*.

a) *Secciones de perfil fácil*. — Consideraremos como tales aquellas en que predomina la rasante horizontal, interrumpida por rampas o pendientes no mayores de 5 ‰.

Teniendo en cuenta la resistencia que ofrecen los accidentes del trazado de la vía, supondremos para simplificar el estudio del problema de la tracción,

que las resistencias debidas a las rampas y las curvas equivalen a la resistencia que opondría una rampa media seguida de 3 ‰.

Fijaremos la *velocidad de 72 kms./hora* o sea 20 m/s. como velocidad de plena marcha de aquellos trenes en estas secciones, necesaria para mantener el horario de los mismos.

Vamos a ver qué potencia necesitaba desarrollar una máquina de la serie 151 a 166 en estas condiciones.

Tenemos:

Peso máquina y tender	65 toneladas
Peso del tren	115 »
Peso total	180 »
Resistencia por tonelada total en línea recta y horizontal a la velocidad de 72 kms./hora	6,5 Ks.
Resistencia, por tonelada, debida a las rampas y las curvas	3,0 »
Resistencia total por tonelada	9,5 »

Potencia desarrollada por la locomotora:

$$\frac{9,5 \times 180 \times 20}{75} = 460 \text{ HP. indicados}$$

Como hemos ya indicado que la potencia de la caldera de estas máquinas era de 620 HP., resulta que en este primer caso considerado se utiliza aproximadamente un 75 ‰ de la potencia disponible de las mismas.

b) *Secciones de perfil accidentado*. — Consideraremos aquí la tracción de aquellos trenes en las secciones en rampa seguida 14 ‰ y en curva de 400 m. de radio para el cálculo de las resistencias. Fijaremos como velocidad la de *36 kms./hora* o *10 m./s.*

Vamos a ver, siguiendo la misma marcha que en el caso anterior, cuál será la potencia exigida a la locomotora en este caso.

Tendremos:

Resistencia por tonelada total, en línea recta y horizontal, a la velocidad de 36 kms./hora	3,4 Kms.
Resistencia por tonelada, debida a las curvas	2,0 »
Resistencia por tonelada, debida a la rampa de 14 ‰	14,0 »
Resistencia total por tonelada	19,4 »

¹ Consideramos aquí una resistencia global para tren y máquina y tender, pues por el reducido peso de la máquina y tipo de la misma no vale la pena de considerar uno y otro separadamente.

Potencia desarrollada por la locomotora:

$$\frac{19,4 \times 180 \times 10}{75} = 465 \text{ HP. indicados (A)}$$

es decir, igual aproximadamente a la del caso anterior; pero así como allí nos quedaba un excedente de potencia de un 25 % disponible y realmente utilizable ya para aumentar la velocidad en caso de marchar el tren con retraso, ya para desarrollar un esfuerzo mayor si por cualquier motivo conviniese aumentar el peso del tren, en cambio, en este segundo caso considerado, esto no resulta posible, y aquel excedente de potencia de cerca el 25 %, que nos ofrece todavía la caldera, no es utilizable. Fácilmente nos convenceremos de ello, pero necesitamos dar una pequeña explicación.

En efecto: la expresión (A) nos indica la *potencia indicada*, es decir, desarrollada en los cilindros, que es en definitiva la que realmente debe suministrar la caldera. Nos interesa ahora poner de manifiesto la potencia desarrollada tangencialmente a la llanta de las ruedas motrices, la cual se acostumbra a considerar, con suficiente aproximación, igual a 1/1,1 de la *potencia indicada*, por lo cual en nuestro caso se tendrá:

$$\text{Potencia efectiva} = \frac{\text{Potencia indicada}}{1,1} = \frac{465}{1,1} = 425 \text{ HP.,}$$

desarrollados en la llanta.

El esfuerzo correspondiente a esta potencia, considerando la misma velocidad de 36 kms./hora (10 metros por 1 segundo) será:

$$\frac{425 \times 75}{10} = 3\ 170 \text{ ks.}$$

La relación entre este número y el peso adherente de la locomotora tiene gran importancia, pues de su valor depende el que la locomotora avance arrasando su tren, gracias a la adherencia, en lugar de que las ruedas motrices giren patinando sobre los carriles sin desarrollar esfuerzo útil alguno en el gancho de tracción del tender al que va unido todo el tren. Veamos, pues, qué valor tiene en el caso considerado esta relación:

$$\frac{\text{Esfuerzo en la llanta}}{\text{Peso adherente}} = \frac{3\ 170}{27\ 280} = \frac{1}{8,6}$$

valor muy elevado, que no es conveniente rebasar. Esto nos indica que en el caso segundo, que es el que estamos considerando, nos encontramos ya en un

caso límite, ya que por poco desfavorables que sean las condiciones atmosféricas (días de humedad, etc.), aquellas máquinas, al pasar por estas secciones de perfil difícil, patinarán frecuentemente, obligando al maquinista a reducir la admisión del vapor a los cilindros para limitar el esfuerzo desarrollado en la llanta a un valor conveniente para evitar el patinaje, y como consecuencia de esta disminución de admisión tendremos pérdida de velocidad con el consiguiente retraso en la marcha del tren.

Creemos se comprenderá ahora claramente el motivo que impedía sacar todo el partido posible de esta serie de máquinas en los trayectos de fuertes rampas.

Hemos dado un gran desarrollo a los preliminares de este artículo, así como al analizar las condiciones en que las antiguas locomotoras 151-166 verificaban el servicio de los expresos, porque nos ha parecido interesante mostrar el estado en que se encontraba este asunto, cuando se decidió la Compañía de M. Z. A. a renovar su material de tracción encargando la construcción de nuevas series de locomotoras de mayor potencia.

Repitamos todavía, una vez más, que las últimas locomotoras, que debían ser retiradas de este servicio desde la recepción de la primera de las series que llamamos modernas, podían desarrollar más potencia que la demandada por el servicio corriente en las secciones fáciles del trayecto; pero fallaban en las secciones difíciles en que la potencia utilizable de su caldera quedaba limitada por lo reducido del peso adherente. Este hecho tenía evidentemente que ser el caballo de batalla en todo proyecto o estudio de un nuevo tipo de locomotora.

El tipo de locomotoras que tenía que suplantar a las 151-166 debería, pues, poseer ante todo mayor peso adherente, pudiendo conservarse el mismo diámetro para las ruedas motrices, ya que no se sentía necesidad de que las nuevas máquinas tuviesen que desarrollar en el llano velocidades superiores a las que eran capaces de desarrollar las anteriores.

Primer tipo de locomotoras modernas destinadas al servicio de los expresos.—Lo constituyeron las locomotoras de la serie 651 a 665 del tipo 4-6-0, de cuatro cilindros, sistema compound y vapor saturado, construídas en 1901 por la fábrica alemana «Hannoversche Maschinenbau A. G.» de Hannover-Linden. De un peso adherente de 42 850 kgs., estas máquinas presentaban ya un aumento de un 55 % sobre el peso adherente de la serie anterior.

Esta primera serie pasó a prestar servicio en se-

guida en la *Red Antigua*. Al poco tiempo se recibieron las de la segunda serie 666-680 del mismo tipo que las anteriores, salvo pequeñas diferencias, la más importante de las cuales era la sustitución del hogar tipo *Crampton* de las máquinas 651-665 por el hogar *Belpaire*, que se conservó ya en las sucesivas series de este tipo que se encargaron posteriormente.

Las máquinas 666-680, que procedían del constructor «Henschel & Sohn», de Cassel (Alemania), quedaron destinadas a los servicios de los expresos y correos, substituyendo a las antiguas 151-166 en la línea de Barcelona a Portbou primero y poco después también en la línea de Zaragoza.

Estas locomotoras, sistema compound, de cuatro cilindros, dispuestos según el tipo «de Glehn», llamado también *tipo compound francés*, presentan las siguientes características principales:

Locomotoras serie 666-680

(p) Timbre de la caldera	14 ks. /cm. ²	
(g) Superficie de la rejilla	2,74 m. ²	
Superficie de calefacción {	Hogar (f)	11,60 m. ²
	Tubos (t)	170,80 m. ²
	Total	182,40 m. ²
(c) Superficie de calefacción reducida $(f + \frac{t}{3})$	68,53 m. ²	
Cilindros {	A. P. Diámetro	0,350 m.
	B. P. id.	0,550 m.
	Carrera de los émbolos	0,650 m.
Diámetro de las ruedas motrices	1,750 m.	
Potencia de la caldera ($K\sqrt{p g c}$)	1 140 HP.	
Peso adherente	43 000 kgs.	
Id. locomotora en servicio	61 500 »	
Id. id. con su tender	103 930 »	

Estas máquinas prestaron excelentes servicios momentáneamente; pero se comprenderá, después de examinar sus características y compararlas con las de las 151-166 antiguas, que deberían mostrarse impotentes, más o menos tarde, al aumentar el peso de los trenes, precisamente en las mismas secciones de perfil difícil. A pesar de poderse ya adivinar el defecto de qué adolecerían en época no lejana, continuó construyéndose este tipo, perteneciendo al mismo las siguientes series construídas sucesivamente desde 1901 a 1912:

Series	N.º de máquinas	Constructor
651-665	15	Hanomag
666-680	15	Henschel & Sohn
801-825	25	Id.
826-845	20	Id.
846-855	10	Id.
856-865	10	Maffei
866-875	10	Hanomag
TOTAL	105 locomotoras	

Durante nuestra permanencia en la Compañía M. Z. A. tuvimos ocasión de comprobar prácticamente la máxima potencia que son capaces de desarrollar estas máquinas.

Efectuamos estas pruebas con la máquina número 673, remolcando el tren expreso 852 entre Mora la Nueva y Barcelona. Este trayecto se presta bien para estos ensayos, pues comprende secciones con rampas seguidas de 14 ‰ y numerosas curvas de 350 y 400 metros de radio, entre Mora y Pradell, que corresponden exactamente a las secciones accidentadas a que nos hemos referido anteriormente. Además, se encuentran otros trayectos, entre San Vicente y Prat, de perfil muy fácil, que puede en determinadas secciones asimilarse a una rasante recta y horizontal.

En ambas secciones forzamos la vaporización todo lo posible empleando carbón de bastante buena calidad, habiendo podido anotar los resultados siguientes:

Peso del tren remolcado	190 toneladas
Velocidad sostenida en rampa seguida de 14 ‰ y curvas de 400 metros.	40-45 Kms./hora
Velocidad máxima alcanzada en recta y horizontal.	97 Kms./hora

En el caso de la rampa llegamos al cambio de rasante con la presión de régimen en la caldera, pero habiendo disminuído algo el nivel del agua en la misma.

En el segundo caso, en la rasante horizontal conservamos el nivel del agua, pero la presión tenía tendencia a disminuir.

En resumen: que tanto en un caso como en el otro habíamos llegado al límite de la potencia de la caldera.

Veamos qué potencia desarrollaba la máquina en estos dos casos.

Aplicando a ellos las fórmulas de resistencia de manera análoga a lo hecho al tratar de las máquinas 151-166, tendremos:

Peso de la máquina con su tender	104 000 Kg.
Peso del tren	190 000 »
Resistencia por tonelada total (tren y máquina) en recta y horizontal a la velocidad de 40-45 Kms. por hora (12 metros por segundo)	4,5 Kg.
Resistencia por tonelada de tren en recta y horizontal a la velocidad de 97 Km. por hora (27 metros por segundo).	6,6 » (1)
Resistencia por tonelada de máquina y tender a la velocidad de 97 Km. por hora.	17,0 » (1)
Resistencia por tonelada total debida a una rampa de 14 ‰ en curva de 400 metros de radio.	16,0 »

Potencia indicada desarrollada en los cilindros de la máquina:

- a) En recta y horizontal a 97 Km. por hora = 1 080 HP.
- b) En rampa de 14 ‰ y curva a 40-45 kilómetros por hora. = 960 HP.
- Coefficiente de adherencia = 1/7,8

En este segundo caso nos encontrábamos ya en el límite de la adherencia, lo cual nos indica que no siempre podremos alcanzar esta velocidad en tal sección.

Vemos que los resultados obtenidos por el cálculo concuerdan bastante bien con la realidad de los hechos.

En ambos casos se ha consumido la misma potencia, toda la producida por el generador, y si en el caso primero encontramos 120 HP. indicados más que en el segundo, es natural que así suceda ya que como la admisión del vapor fué mucho mayor en el caso de la rampa (50 por 100 en los cilindros A. P. contra 35 por 100 en los mismos cilindros en el primer caso), naturalmente que la expansión fué inferior y, por tanto, cada kilogramo de vapor producido en la caldera dió lugar a menos trabajo mecánico, perdiéndose por la chimenea de la locomotora el resto de la energía que era aún capaz de desarrollar con un grado mayor de expansión.

Segundo tipo de locomotoras modernas «ensayado» en el servicio de los trenes expresos.— No pudiendo lograr ya un aumento sensible del peso

(1) Hemos aplicado las fórmulas de resistencia obtenidas por M. Barbier en los ensayos efectuados con trenes a gran velocidad en los «Chemins de fer du Nord», aumentando ligeramente los resultados en el caso de la locomotora, para tener en cuenta el mayor ancho de vía.

adherente con máquinas de tres ejes acoplados, por no permitirlo los Reglamentos vigentes en España, claro está que el nuevo tipo de locomotora que debía substituir a las de la serie 651-680 y demás del mismo tipo deberían presentar cuatro ejes acoplados, con lo cual al aumentar en un 35 por 100 el peso adherente podría aumentar en una proporción análoga la potencia de su caldera y en definitiva la de la locomotora misma. Se escogió como tipo el que responde a la notación 4-8-0. Se le destinó en principio a trenes pesados de viajeros, y sólo como recurso cuando los expresos de noche de Barcelona a Francia adquirieron pesos de cerca de 300 toneladas al substituir el material de dos ejes por el de *bogies* se ensayaron para remolcar estos trenes. El demasiado reducido diámetro de sus ruedas motrices (1'40 m.) demostró en seguida las dificultades de estas máquinas para sostener en buenas condiciones velocidades superiores a las de 65-70 kms. por hora.

Este tipo de locomotoras marcan una evolución importante en los tipos que posteriormente va adquiriendo la Compañía M. Z. A. Son máquinas de cuatro ejes acoplados, de simple expansión y vapor recalentado, características que encontramos al cabo de ocho años en el último tipo construido por «La Maquinista Terrestre y Marítima», motivo principal de este artículo. El único defecto importante que presentan aquellas máquinas lo constituye el reducido diámetro de sus ruedas motrices, según se ha dicho. Sólo con examinar de cerca estas máquinas y fijarnos en la disposición y diámetro de sus ruedas se ve en seguida que no guarda relación la disposición de un *bogie* delantero, indicio de que la máquina está destinada a alcanzar velocidades relativamente elevadas, con el reducido diámetro de las ruedas que le siguen, indicio que expresa precisamente lo contrario del anterior. Un ligero aumento de 15 a 20 centímetros en el diámetro de aquellas ruedas, y hubiésemos llegado al tipo que podríamos considerar como el ideal para nuestros trenes y líneas, no sólo de la Compañía M. Z. A., sino de las demás de todo España.

Otra innovación importante que presentaron estas máquinas fué el prescindir de la doble expansión adoptando el vapor recalentado como único y suficiente dispositivo para mejorar el rendimiento térmico, mucho más sencillo y por lo menos tan eficaz como el *sistema compound*.

Estas locomotoras, construidas por Henschel & Sohn en 1912-1913, forman una serie de 95 máquinas, 1101 a 1195, y sus características principales son las siguientes:

Locomotoras serie 1101-1195

(p) Timbre de la caldera	12 ks./cm. ²
(g) Superficie de la rejilla	3,90 m. ²
Superficie de calefacción	{ Hogar (f) 14,00 m. ²
	{ Tubos (t) 204,00 m. ²
	{ Total 218,00 m. ²
Superficie de calefacción reducida $(f + \frac{t}{3})$	82,00 m. ²
Superficie exterior del recalentador	61,00 m. ²
Cilindros	{ Diámetro 0,580 m.
	{ Carrera del émbolo 0,660 m.
Diámetro de las ruedas motrices	1,400 m.
Potencia de la caldera (1) $(1,20 K \sqrt{p g c})$	1 640 HP.
Peso adherente	58 320 Kg.
Id. de la locomotora en servicio	78 555 »
Id. id. con su tender	116 555 »

Tercer tipo de locomotora ensayado.—Lo constituye una reducida serie de cuatro máquinas números 877-880 del tipo llamado «Pacific», consistente en la disposición de los ejes en la forma expresada por la notación 4-6-2. Son de doble expansión a cuatro cilindros y de vapor recalentado y fueron construídas por Maffei en 1913.

Pasaron a prestar servicio en la *Red Antigua*. Después de todo lo dicho, creemos que se encontrará extraño encontrar un nuevo tipo con sólo tres ejes acoplados que, aunque cargados al máximo (diez y seis toneladas por eje), acusan una disminución notable de peso adherente comparadas con las de la serie anterior 1101-1195.

Esto nos indica claramente que en las altas esferas del Servicio de Tracción de la Compañía no todos estaban en aquella época conformes en aceptar como bueno el tipo de cuatro ejes acoplados para los trenes expresos. Sin duda influyó también la extensión que en el extranjero adquirían las locomotoras tipo «Pacific», especialmente en Francia, olvidando tal vez que las necesidades del servicio de tracción en nuestro país son muy distintas a las del extranjero.

Estas locomotoras, de excelente y esmerada construcción, darían inmejorables resultados remolcando trenes expresos de 400 toneladas de peso y más, con marchas bastante más elevadas que las de los nuestros, en trayecto con rampas máximas de 10 por 100. Como desgraciadamente en nuestras líneas principales abundan rampas más pronunciadas, estas

(1) Por tratarse de una caldera que proporciona a los cilindros el vapor recalentado, hay que afectar aquella fórmula del coeficiente 1,20 para que sus resultados sean comparables a los de las otras calderas.

máquinas deberían quedar relegadas a trayectos limitadísimos, y como el número de expresos que en ellos circulan diariamente es todavía muy reducido. de ningún modo se justifica la adopción de este nuevo tipo de máquinas. Representa más bien un retroceso que un adelanto en el camino que parece se habían trazado, con muy buen criterio, los ingenieros de Tracción de la Compañía M. Z. A., de simplificación y unificación de tipos de locomotoras para los diversos servicios.

Indicamos a continuación las características principales de este tipo de máquinas:

Locomotoras serie 877-880

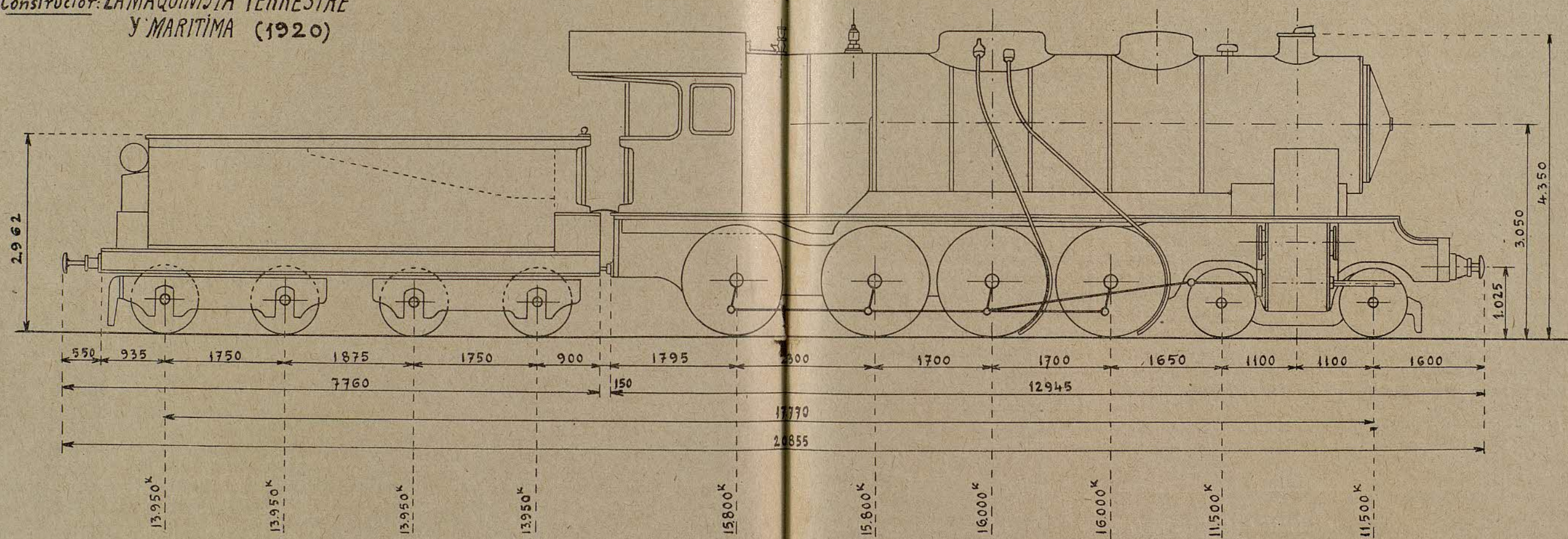
(p) Timbre de la caldera	16 ks./cm. ²
(g) Superficie de la rejilla	4,20 m. ²
Superficie de calefacción	{ Hogar (f) 14,95 m. ²
	{ Tubos (t) 180,75 m. ²
	{ Total 195,70 m. ²
Superficie de calefacción reducida $(f + \frac{t}{3})$	75,20 m. ²
Superficie exterior del recalentador	53,50 m. ²
Cilindros	{ A. P. Diámetro 0,400 m.
	{ B. P. Diámetro 0,620 m.
	{ Carrera de los émbolos 0,650 m.
Diámetro de las ruedas motrices	1,750 m.
Potencia de la caldera $(1,20 K \sqrt{p g c})$	1 880 HP.
Peso adherente	48 000 kg.
Id. de la locomotora en servicio	85 500 »
Id. id. id. con su tender	132 500 »

Cuarto tipo de locomotoras modernas.—Este tipo lo constituyó primeramente una reducida serie de ocho máquinas números 1301 a 1308, construídas en 1914, inmediatamente antes de estallar la pasada guerra por la «Hannoversche Maschinenbau A. G.»

Pertenecen al tipo 4-8-0, como la serie 1100, de la que se diferencian por el diámetro de sus ruedas motrices, que con muy buen acuerdo se aumentó de 1,40 m. a 1,60 m. En cambio, no quiso adoptarse el vapor recalentado con la simple expansión, sino que se prefirió la máquina de cuatro cilindros a doble expansión, combinada con el empleo del vapor recalentado. No comprendimos bien al ver estas máquinas y después de la experiencia adquirida con el servicio de las 1100, como dieron la preferencia a la doble expansión, cuyos inconvenientes en la revisión de la máquina durante el servicio y mayor coste en las reparaciones efectuadas en los depósitos y talleres pesan mucho más, a nuestro entender, que la pequeña economía que puede aportar la

Locomotoras y tenders serie 1.400 de M.Z.A.

Constructor: LAMAQUINISTA TERRESTRE
Y MARITIMA (1920)



Timbre	14 ^k	Longitud de los tubos	5 ^m ,000	Peso de la locomotora en servicio	86.600 ^k	
Cilindros	Díametro	0 ^m ,620	Díametro exterior	0 ^m ,133 0 ^m ,050	id adherente	63.600 ^k
	Carrera	0 ^m ,660	Número	26 214	Díametro de las ruedas del tender	0 ^m ,975
Díametro de las ruedas motrices	1 ^m ,600	Superficie Hogar	16,40 m ²	Carga de combustible	6.000 ^k	
id id del bogie	0 ^m ,975	de Tubos (interiores)	202,35 m ²	Capacidad de la caja de agua	25 m ³	
Esfuerzo de tracción (0,65 $\frac{Pd^2}{D}$)	14.790 ^k	calefacción Total	218,75 m ²	Peso del tender vacío	24.820 ^k	
Díametro interior del cuerpo cilíndrico	1 ^m ,800	Recalentador	58,50 m ²	id id en servicio	55.800 ^k	
Superficie de la rejilla	4,56 m ²	Peso de la locomotora vacía	77.400 ^k	Potencia máxima de la caldera	1.940 c.v.	

doble expansión al sobreponerla al vapor recalentado y el mejor equilibrio de las masas de movimiento alternativo obtenido con las máquinas de cuatro cilindros comparadas con las de dos cilindros, sobre todo cuando éstos están dispuestos exteriormente al bastidor. Además, este mejor equilibrio de la máquina de cuatro cilindros es tanto más apreciable cuanto más elevada es la velocidad de marcha, adquiriendo marcada influencia en velocidades de 90 a 120 kms./hora o más, que son precisamente las velocidades a las que no tenemos ninguna necesidad de recurrir en nuestro país.

Las características más importantes de estas máquinas son las siguientes:

Locomotoras serie 1301-1308

(p) Timbre de la caldera	14 ks./cm. ²									
(g) Superficie de la rejilla	4,10 m. ²									
Superficie de calefacción	<table border="0" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr> <td style="font-size: 3em; vertical-align: middle;">{</td> <td>Hogar (f)</td> <td>14,67 m.²</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Tubos (t)</td> <td>186,46 m.²</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Total</td> <td>201,13 m.²</td> </tr> </table>	{	Hogar (f)	14,67 m. ²		Tubos (t)	186,46 m. ²		Total	201,13 m. ²
{	Hogar (f)	14,67 m. ²								
	Tubos (t)	186,46 m. ²								
	Total	201,13 m. ²								
Superficie de calefacción reducida $(f + \frac{t}{3})$	76,82 m. ²									
Superficie exterior del recalentador	57,00 m. ²									
Cilindros	<table border="0" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr> <td style="font-size: 3em; vertical-align: middle;">{</td> <td>A. P. Diámetro</td> <td>0,420 m.</td> </tr> <tr> <td></td> <td>B. P. Diámetro</td> <td>0,640 m.</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Carrera de los émbolos</td> <td>0,650 m.</td> </tr> </table>	{	A. P. Diámetro	0,420 m.		B. P. Diámetro	0,640 m.		Carrera de los émbolos	0,650 m.
{	A. P. Diámetro	0,420 m.								
	B. P. Diámetro	0,640 m.								
	Carrera de los émbolos	0,650 m.								
Diámetro de las ruedas motrices	1,600 m.									
Potencia de la caldera $(1,20 K \sqrt{p g c})$	1 750 HP.									
Peso adherente	60 000 kg.									
Id. de la locomotora en servicio	88 000 »									
Id. id. id. con su tender	143 800 »									

(Continuará)

Destinadas al servicio de los expresos, debió considerarse que esta primera serie de ensayo daba buenos resultados, por cuanto se encargaron poco después veinte y cinco locomotoras más de este tipo a la «American Locomotive C.» (Estados Unidos) por no poder encargarse el constructor de las ocho primeras de construir otra serie, debido a las circunstancias creadas al comercio con Alemania durante la guerra.

Hoy día continúan prestando el servicio de los expresos y correos de Barcelona a Madrid, cuyo peso ha aumentado considerablemente.

Llegamos por fin al

Quinto tipo de locomotoras modernas, constituido por la serie 1401 a 1450, la primera de las cuales hace pocos días que presta servicio. Afectada al servicio de los mismos trenes que las 1300, pronto se apreciarán, creemos nosotros, sus ventajas afianzándose la superioridad de esta serie sobre la anterior.

Son del tipo 4-8-0, de simple expansión y con recalentador de vapor. Cargando los ejes acoplados al máximo tolerado por los Reglamentos, alcanzan el elevado peso adherente de 63 600 kgs. Son una derivación del tipo 1100 con ruedas motrices de 1,60 m. como las de la serie 1300 y con enorme caldera de una potencia de 1 940 HP. en régimen, con el eje de la misma sumamente elevado para lograr mayor profundidad del potente hogar de que van provistas.

En la lámina adjunta se encontrará el diagrama de estas máquinas, con indicación de sus dimensiones y características principales.

M. M.

Ingeniero Industrial

QUÍMICA INDUSTRIAL

EL NITRÓGENO.—ESTADO ACTUAL DE LA CUESTIÓN

SUMARIO.—La industria de los productos nitrogenados sintéticos ha adquirido considerable desarrollo durante la pasada guerra, en los distintos países tanto beligerantes como neutrales, particularmente en las comarcas abundantemente dotadas de energía hidráulica.—Paulatinamente, de los primitivos procedimientos que aplicaban los principios descubiertos en el laboratorio para obtener las síntesis conducentes a los productos comerciales, se derivaron otros procedimientos secundarios, perfeccionamiento de los primeros, que mejoraban los rendimientos y hacían a menudo factibles ideas atrevidas, pero imperfectas, en un principio, desde el punto de vista industrial.—Vamos a exponer aquí la evolución general de los procedimientos industriales que al permitir la obtención, económicamente, de los productos nitrogenados sintéticos, han dejado libre el mercado de la soberanía casi absoluta de que gozaban los nitratos naturales.—Últimamente, estudiaremos, con más detalle, los procedimientos más interesantes y cuyas condiciones de aplicación son poco conocidas todavía

Los procedimientos empleados actualmente para la producción sintética de los nitratos y del ácido nítrico pueden clasificarse en dos grupos:

A.—Procedimientos que obtienen los compuestos nitrogenados, directamente, por oxidación del nitrógeno del aire.

B.—Procedimientos indirectos, basados sobre la

producción sintética del amoníaco, seguida de su oxidación.

La oxidación directa del nitrógeno puede obtenerse:

1.º Por medio del arco eléctrico (procedimiento Birkeland y sus derivados).

2.º Por la energía desarrollada por la explosión de una mezcla gaseosa (procedimiento Hausser).

3.º Por la presencia de microorganismos.

El amoníaco, por su parte, puede obtenerse:

1.º Partiendo de la cianamida, formada por fijación del nitrógeno del aire (procedimiento Frank y Caro).

2.º Partiendo de los nitruros (procedimiento Serpek).

3.º Partiendo de los cianuros.

4.º Por síntesis directa (procedimiento Haber).

La oxidación, hasta producir el ácido nítrico, se obtiene por el procedimiento catalítico de Ostwald.

Vamos a pasar sucesivamente revista a estos distintos procedimientos, dando de cada uno de ellos un resumido análisis para no alargar demasiado el presente artículo.

A. — PROCEDIMIENTOS DIRECTOS POR OXIDACIÓN DEL NITRÓGENO ATMOSFÉRICO

1.º Oxidación por el arco eléctrico

Priesley (1785) y Cavendish (1788) habían ya demostrado que, bajo la influencia de una serie de chispas eléctricas que saltaban en el seno de una mezcla de oxígeno y nitrógeno, se producía óxido nítrico NO , el cual, al contacto de un exceso de oxígeno se oxidaba a su vez, dando por resultado el peróxido de nitrógeno N_2O_4 ; pero este proceso sintético nunca hubiese dejado adivinar que podía constituir el punto de partida de una industria por las pequeñísimas cantidades de nitrógeno oxidable en estas condiciones.

Al estudiar más detenidamente esta oxidación, tanto los químicos como los físicos pudieron observar que se establecía un estado de equilibrio por ser reversible la reacción $N_2 + O_2 = 2NO$. Si se absorbe el peróxido formado por medio de sosa, la reacción continúa y resulta así posible oxidar completamente una cantidad dada de nitrógeno.

El examen de la curva de Duhem, representativa de aquel equilibrio, demuestra que, para que la síntesis tenga lugar en buenas condiciones, es preciso elevar mucho la temperatura del gas, enfriándolo después bruscamente.

Las mediciones efectuadas han demostrado que, para distintas temperaturas t , los volúmenes v de óxido nítrico obtenido por unidad de volumen de aire, eran los siguientes:

t	v	t	v
1.538	0,0037	1.922	0,0097
1.604	0,0042	2.307	0,0205
1.750	0,0064	2.402	0,0223

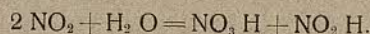
El rendimiento es siempre muy pequeño. Si los gases no se enfrían rápidamente, el NO se desdobra en N y O .

Por consiguiente, todos los procedimientos industriales deben permitir, no solamente la formación del NO , sino también un enfriamiento brusco para evitar su descomposición.

Procedimiento Birkeland y Eyde. — Se funda en el paso de una corriente de aire ordinario por un horno eléctrico especial que eleva rápidamente su temperatura a cerca de $3.000^\circ C$.

Parte del nitrógeno se oxida, formándose óxido nítrico el cual al oxidarse a su vez por contacto con el oxígeno en exceso se transforma en peróxido.

Este peróxido, en presencia del agua, produce los ácidos nítrico y nitroso:



En la práctica, para evitar la descomposición del NO , se regula la temperatura del horno para que los gases a su salida del mismo estén a $750^\circ-800^\circ$, temperatura a la cual ya no es posible la disociación.

Birkeland y Eyde se han aplicado a obtener en el horno una gran superficie de arco eléctrico; lo han logrado desviándolo por medio de un electro-imán. (Sus primeras patentes datan de 1903 y en 1905, una fábrica para experimentación funcionaba en Notodden, Noruega).

La chispa, desviada por el imán, es lanzada a un plano perpendicular a la línea de los polos, el arco se alarga formando semi-círculo y como la corriente empleada es la alterna, la desviación tiene lugar alternativamente en los dos sentidos, lo que hace posible obtener una verdadera llama, mitan encima y mitad debajo de la línea de los electrodos.

La figura 1 representa una sección vertical de este horno cuya forma semeja la de una gruesa lente. Los dos electrodos no figuran por ser perpendiculares al plano del dibujo; consisten en unos tubos

de cobre curvados en forma de U enfriados por el paso de una corriente de agua; el arco es producido por una corriente alterna de 5.000 v.

Los electrodos van situados entre los polos P-P de un electro-imán excitado por corriente continua. La llama eléctrica en forma de disco aplanado alcanza 2 m. de diámetro.

La corriente de aire producida por un ventilador, entra por A, atraviesa el tambor C de distribución, se subdivide en gran número de pequeñas canales, pasando a la cámara de oxidación de la que sale por el canal circular D y es evacuado finalmente por el orificio B a una temperatura de 800° a 1.000° C.

El aire al contacto de la llama adquiere la temperatura de unos 3.000° C, lo cual determina la oxidación del nitrógeno, pero como llega continuamente aire fresco, el NO formado se enfría evitándose la reacción en sentido inverso.

Los conductos están practicados en bloques refractarios que no hay que cambiar más que cada 5 o 6 meses; los electrodos duran de 3 a 4 semanas.

Los últimos tipos de estos hornos que constan de una serie de arcos semi-circulares desviados magnéticamente, evacúan gases a 1.250° C con 1,25 por 100 de NO; su potencia es de 3.000 kw. y producen de 580 a 600 kgs. de ácido nítrico por kw-año o 65 a 70 gr. por kw-hora.

Los gases, a su salida del horno, pasan a calentar unos generadores para producir el vapor necesario para las concentraciones y van después a un refrigerante de tubos de aluminio (metal no atacable) aprovechando el calor que le ceden para calentar el aire que va a los hornos. Los gases, enfriados ya, atraviesan una torre, cuyo interior está lleno de ladrillos, en donde terminan su oxidación transformándose el NO en NO₂, pasan después sucesivamente a través de tres torres de absorción, de granito, y finalmente por dos de madera.

Las torres de granito llenas de cuarzo van rociadas metódicamente; cada una por los productos evacuados por la siguiente menos la última que está rociada por agua sola. En ellas se obtiene ácido ní-

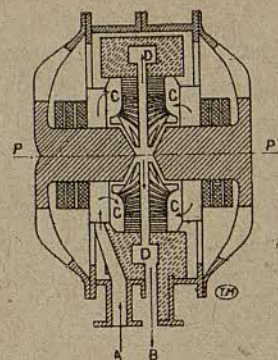


Fig. 1. — Sección vertical de un horno, tipo Birke-land-Eyde

A, entrada del aire; B, salida de los gases; C, tambor distribuidor; D, colector de evacuación; P, P', polos del electro-imán

trico de una concentración de 300 a 400 gramos por litro y algunas veces hasta 500.

En las torres de madera, llenas de cantos rodados, una lechada de cal, absorbe los productos nitrogenados derivados, que no han sido retenidos por el agua en las torres anteriores. En total, se recupera un 96 por 100 de los compuestos nitrogenados formados.

La mezcla de nitrato y nitrito obtenida en las últimas torres es tratada por el ácido nítrico. El ácido nitroso desprendido queda retenido en los aparatos de absorción.

El ácido bruto, así obtenido, puede concentrarse por los métodos conocidos, o saturarse con carbonato cálcico, para obtener el nitrato cálcico por evaporación y cristalización.

Para obtener el nitrito sódico basta rociar las torres de madera con una disolución de carbonato sódico, concentrar esta legía después y separar, finalmente, el nitrito por cristalización.

Varios autores han estudiado el estado de equilibrio de los ácidos nitroso y nítrico al ser absorbidos por el agua.

Briner y Durand (1912) deducen que el aumento de la presión y la disminución de la temperatura favorecen la formación del ácido nitroso.

Lewis y Edgard obtienen el valor constante de disociación: $K = 0,0267$ a 25° C.

El procedimiento Schlæsing hijo, trata de obtener directamente el nitrato cálcico, sin pasar por la formación del ácido. El aire está seco al entrar en los hornos; los gases a su salida del mismo son enfriados hasta 300°-400° y pasan después a unas cámaras de palastro que contienen gruesas pastillas de cal fabricadas del siguiente modo: se apaga la cal viva formando unos aglomerados que se cuecen luego a la temperatura de deshidratación.

Entre 300 y 400° C, aquella cal absorbe totalmente los óxidos de nitrógeno. El nitrato así obtenido contiene 14,5 a 15 por 100 de nitrógeno. Este procedimiento reduce mucho el material de la instalación.

El nitrato obtenido por evaporación de las soluciones, según hemos indicado, se funde a 145° C y se vierte en cilindros de plancha o en moldes de fundición, y luego se le envasa en toneles. Es muy higroscópico lo que dificulta su empleo en días húmedos. Trátase de suprimir este inconveniente.

Procedimiento Schönherr. — Schönherr, ingeniero de la *Badische Anilin und Soda Fabrik* ideó en 1905 un horno bastante especial.

Uno de los electrodos está constituido por la parte

superior de un tubo de acero, formado en parte por placas huecas enfriadas por corriente de agua.

El otro electrodo colocado en la región inferior va enfriado también. El conjunto del horno encerrado en un macizo de ladrillos refractarios forma un haz de tubos concéntricos; el aire circula dos veces alrededor del tubo central, calentándose por contacto con el mismo y penetra luego en él, tangencialmente y a una temperatura de unos 500°; se origina un movimiento helizoidal en cuyo eje salta el arco eléctrico.

El horno *Schönherr* trabaja a 5,000 v., el porcentaje en NO de los gases producidos alcanza a 1,75, y su temperatura, a la salida del horno, es de 800 1,000° C. La corriente utilizada es la monofásica. Según datos recientes, el último tipo de horno *Schönherr* utiliza un arco eléctrico de unos 23 pies [7 m, 01] de longitud y la concentración de los gases producidos alcanza a 2,2 por 100 de NO, con una potencia de 800 Kw. y una producción de 550 a 575 kilogramos de ácido nítrico por Kw.-año o sea 65 gramos ppr Kw.-hora.

Procedimiento Pauling.—Pauling montó su primera instalación en la fábrica de la Sociedad *Salpetersäure* de Patsch (Austria) en el año 1904.

Se han instalado hornos de este tipo en La Roche-de-Rame (Altos Alpes). Estos hornos miden 1 m × 1,20 m × 3 m exteriormente; están construidos con ladrillos refractarios atirantados sólidamente con hierros.

La figura 2 representa la sección vertical de este tipo de hornos. Los electrodos son de acero moldeado. El aire entra por una tubería aplanada. Este aire, a presión y caliente, se proyecta a chorro sobre el arco. Para evitar su extinción, Pauling ha previsto unos electrodos auxiliares de cobre, formados por unas láminas móviles cuyos extremos pueden aproximarse.

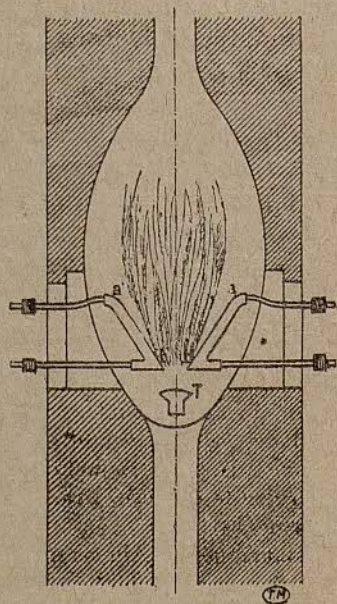


Fig. 2. — Esquema de un horno tipo Pauling

ab, a'b', electrodos; T, tubería de distribución del aire

El enfriamiento de los gases tiene lugar por una admisión regulada de aire a unos conductos inferiores. Las láminas de cobre duran veinte horas y pueden cambiarse en dos minutos.

Los electrodos funcionan de 500 a 600 horas, gracias al enfriamiento obtenido por la circulación de agua en su interior.

Cada horno consta de dos arcos en serie, alimentados por corriente trifásica, de 50 períodos y 4,000 v.

El efecto útil obtenido es como el de un arco con una llama de 0 m, 75 de longitud en íntimo contacto con el aire.

La proporción de NO obtenida es de 1,25 a 1,50 por 100 con un horno de 400 Kw. y su producción de 525 a 540 Kg. por Kw.-año o sea 60 gramos por Kw.-hora. La temperatura de las llamas es de 3,500° C, y la de los gases a su salida del horno: 1,000°.

El Dr. Rossi aconseja el empleo de electrodos constituidos por una aleación de aluminio; cree que este metal produce una acción catalítica que aumenta el rendimiento.

Otros procedimientos.—Scott (1915) ha insistido mucho sobre el empleo de aire rico en oxígeno. Su horno utiliza la corriente trifásica y, por insuflación de aire, obtiene una llama en forma de cono invertido. La influencia que puedan tener sobre la oxidación, los distintos factores que intervienen ha sido estudiada repetidas veces.

Ehrlich y Russ (1911) han demostrado la influencia favorable ejercida por el ozono, deduciendo las variaciones del porcentaje de NO en función de la riqueza en oxígeno del aire inyectado.

Holwech (1910), al estudiar el funcionamiento de un horno con anodo refrigerado, obtuvo los resultados mejores, con un arco muy corto y el campo más intenso, compatible con la temperatura, produciendo en estas condiciones 80 gramos por Kw.-hora con una concentración de 9 por 100 en NO.

Anzies (1911) estableció unas tablas relacionando las temperaturas y los rendimientos. También estudió la acción catalítica de esta reacción. Después de ensayar los óxidos de Co, Mg, Cu, Ni, Pt, Pa, Ba, Pb, Ce y Th dió su preferencia al empleo del óxido de Co.

Andriessens y Scheinemandel, se separan de la teoría de Birkeland y tratan de reducir todo lo posible la superficie de reacción, por medio de un dispositivo especial.

Basaron su teoría en el estudio de la reacción

efectuada en diversas condiciones. A 3,000° absolutos la velocidad de reacción corresponde a una duración de 10⁻⁷-10⁻⁸ minutos. Será preciso, por lo tanto, realizar un descenso de temperatura de 3,000° a 1,500° en un tiempo inferior a aquel, si se quiere evitar la descomposición del NO formado.

Estos autores pretenden haber obtenido rendimientos superiores en un 80 por 100 al de los hornos Biskeland.

Principales aplicaciones.— Desde 1905 la «Sociedad noruega del nitrógeno» ha efectuado instalaciones siguiendo los procedimientos Biskeland-Eyde y Schönherr en Rjukan, Notodden, etc. Hoy día las fábricas noruegas consumen 250,000 Kw.

El procedimiento Paulins se emplea en varias fábricas; citemos entre ellas las de: La Roche-Rauce (Francia), Gelsenkirchen, las fábricas Naville, (cerca de Ginebra), Muldesteni (Sajonia).

El método Schönfrerr se emplea en Christiandsund (fábrica de la «Badis-che»).

Suiza fabrica ácido nítrico sintético en Chippis (Valais) y en Bodio cerca del San Gotardo.

2.º Oxidación por explosión de una mezcla gaseosa (procedimiento Hausser)

El fundamento de este procedimiento es muy curioso: la oxidación de nitrógeno se verifica mediante la energía calorífica contenida en los gases combustibles.

Pueden utilizarse mezclas de aire y gases procedentes de los hornos de cok, de los altos hornos, etc.

El aire peroxigenado y los gases combustibles se introducen a presión en una bomba. Se hace saltar una chispa eléctrica de alta tensión para determinar una explosión.

El gas obtenido se trata después del mismo modo que en el procedimiento Birkeland Eyde para la fabricación de nitratos.

La mezcla gaseosa debe enfriarse inmediatamente inyectando agua a presión para evitar la descomposición de los óxidos de nitrógenos formados. La temperatura alcanza 2,100° y la concentración en NO; 0.5 por 100.

1 m³ de gas de 4,300 calorías produce 190 gr, de ácido nítrico. La energía así consumida corresponde aproximadamente a 1 kw hora. El rendimiento del método noruego, según hemos indicado, es cuatro veces menor. Este procedimiento, permite utilizar los gases de los hornos de cok, así se efectúa en Hamm (Alemania).

El método Hausser, resulta sumamente interesante por permitirnos el aprovechamiento de combustibles de mala calidad, tales como los lignitos, las turbas, virutas de madera, etc.

El método *Bender* utiliza gases naturales, como el metano, y también otros hidrocarburos que se desprenden en los terrenos petrolíferos. Tiene su aplicación en Kissarmas (Transylvania), en donde el metano natural puede producir 12,500^t de ácido nítrico por año.

Es igualmente posible el empleo de gases sintéticos, obtenidos, por ejemplo, partiendo de los carburos metálicos.

3.º Oxidación por micro-organismos

Nitrificación por medio de fermentos.— En la superficie del terreno el amoníaco se nitrifica bajo la acción de determinado micro-organismos. Otros microbios fijan directamente el nitrógeno del aire cediéndolo a distintas plantas, en particular a las leguminosas. Estos microbios podrían dar origen al desarrollo de industrias para producir sintéticamente los nitratos.

El procedimiento Müntz y Lainé se funda en estas fermentaciones especiales. Basta rociar turba sembrada de fermentos nitrificadores con soluciones amoniacales para obtener los nitratos. La producción puede alcanzar a 50 o 60 gr. de ácido nítrico por día. Una hectárea de yacimientos de turba podría darnos 800^t de nitrato sódico por año.

Este método no exige otros gastos que los indispensables para su entretenimiento, pues no consume energía, sin embargo no ha resultado industrial. Puede tener cierto interés para la agricultura y para la explotación de los yacimientos de turba.

No insistiremos, ciñéndonos al estudio de los métodos realmente industriales.

B.—PROCEDIMIENTOS INDIRECTOS FUNDADOS EN LA PRODUCCIÓN SINTÉTICA DEL AMONIACO

1.º Partiendo de la cyanamida (Frank y Caro)

La cyanamida.— Frank y Caro, continuando los trabajos de Marguerite, Sourdeval, Salvay, Ludwig Moud y estudiando la preparación de los cianuros, observaron la absorción del nitrógeno por los carburos alcalino-térreos a elevada temperatura.

El carburo de calcio al absorber el nitrógeno origina la cyanamida cálcica:



Esta cyanamida, al desprender amoníaco, bajo la acción del agua, constituye un abono interesante y una fuente de producción industrial de amoníaco.

La reacción de formación de la cyanamida, es reversible y tan complicada que sus constantes de equilibrio no han podido ser todavía bien determinadas.

Frank ha demostrado que se obtenía fácilmente su formación a 900° empleando nitrógeno puro.

Toda fabricación de cyanamida supone pues:

1.º La fabricación del carbono de calcio en el horno eléctrico por los procedimientos conocidos.

2.º Una fábrica de nitrógeno puro. Hoy día, este es obtenido por rectificación del aire líquido en aparatos especiales.

Los perfeccionamientos que reciben estos aparatos van dirigidos, casi exclusivamente, a la obtención de nitrógeno cada vez más puro. Para lograrlo, los inventores han procurado a la columna en que se verifica la rectificación, una circulación en sentido inverso de nitrógeno líquido, ya tan puro como sea posible. Podemos citar, entre estos aparatos, los de Claude, Pictet, Barbet, Luide.

El carburo de calcio con 80 por 100 de fuerza, destinado a la fabricación de la cyanamida, debe ser previamente triturado y pulverizado después en molinos de bolas herméticamente cerrados con circulación de nitrógeno seco para evitar toda deterioración.

El polvo obtenido se introduce en unas retortas análogas a las de las fábricas de gas, calentadas con un hogar o con gasógenos, o bien en unos crisoles de hierro calentados en hornos eléctricos.

A 1,200°-1,300° G (rojo cereza), se hace pasar una corriente de nitrógeno puro y seco. Esta operación dura de 30 a 56 horas. El final de la misma viene indicado por la temperatura que alcanza su valor máximo en este instante, disminuyendo después; también pueden guiar las indicaciones de un manómetro colocado en la tubería de conducción del nitrógeno.

Como se trata de una reacción exotérmica, el consumo de calorías para calentar el carburo es muy reducido.

Una vez enfriados los crisoles o las retortas, la masa negruzca y porosa obtenida pasa a unas trituradoras de mandíbulas y luego a un molino que la pulveriza, si tiene que destinarse a la Agricultura. Un aparato clasificador separa los trozos no pulverizados, para devolverlos a los molinos.

La cyanamida contiene algunas veces solamente 15 por 100 de nitrógeno, aunque ordinariamente

llega a 20-21 por 100; es el mismo porcentaje del sulfato amónico, y suficiente para poderla considerar como un abono muy apreciable. Los principales consumidores de la cyanamida son, desde hace tiempo, los agricultores; su empleo industrial es más reciente.

La composición media de una buena cyanamida es aproximadamente: nitrógeno, 20-21 por 100; calcio, 40-42 por 100; carbono, 17-18 por 100.

Un inconveniente de la cyanamida consiste en que, a veces, al ponerse en contacto sobre el terreno, con el acetileno que se desprende se polimeriza, dando lugar a la formación de la dicyandiamida y de la dicyandiamidina, ambas de efectos tóxicos sobre las plantas. Por lo cual este abono no puede emplearse en capas superficiales en lugar de los nitratos.

La cyanamida de Frank y Caro se denomina también «cal nitrogenada». Otro producto conocido con el nombre de cal-nitrógeno, se fabrica con el procedimiento Polzeniusz por medio de una corriente de nitrógeno puro a 750° pasando sobre una mezcla, lo más homogénea posible, de carburo y cloruro de calcio. Contiene: 22 por 100 de nitrógeno; 19,5 por 100, de C; 45 por 100, de Ca y 6,5 por 100, de Cl.

Este producto es completamente análogo a la cyanamida. Se fabrica en Westergeln (Alemania) hasta 1910 y se vendía con el nombre de «Stichstoffkalk».

Entre las fábricas productoras de cyanamida debemos citar las siguientes:

En Francia: Notre-Dame de Briançon.

En Italia: Piano d'Orte sobre el Pescara (25,000 HP).

En América: Niágara Falls (Canadá).

En Austria: Sebenica, Almissa, María-Rast.

En Alemania existen muchas fábricas que según Parsons producían 30,000^t en 1913, habiendo debido elevarse esta cifra a 400,000 en 1917. Entre estas fábricas podemos citar las de Knapsack, Trotsbey, Tchesting, Gross-Kayna.

He aquí las denominaciones más usuales de las cyanamidas en los distintos países:

Lime-nitrogen. — Cyanamida cálcica bruta en polvo fino; contiene aproximadamente: 35 por 100 de CN·N₂Ca, 2 por 100 de C, Ca y 20 por 100 de Ca O libre.

Cyanamid. — Denominación comercial de un producto completamente hidratado que se vende en los Estados Unidos como abono. Contiene 45 por 100 de CN·N₂Ca, 27 por 100 de Ca (OH)₂, aproximadamen-

te, sin cantidad alguna de carburo, ya que este ha quedado descompuesto por el agua.

Calcium cyanamid.—Es el nombre empleado oficialmente en los Estados Unidos para designar la «cianamid» comercial.

Nitrolim.—Nombre comercial del producto vendido para abono en Inglaterra. Es el mismo «lime-nitrogen» al que se ha añadido la cantidad de agua estricta para destruir el carburo. Prácticamente, toda la cal libre está en forma de Ca O.

Klestickstoff.—Producto comercial alemán, empleado como abono. Es sinónimo del «nitroliim».

Calcio cyanamida.—Producto comercial italiano, completamente hidratado.

Cyanamida de calcio.—Producto comercial francés completamente hidratado.

Producción del amoníaco.—Hemos dicho que sobre el terreno la cyanamida bajo la acción del agua desprendía amoníaco. Esta reacción se verifica muy lentamente, pero en determinadas circunstancias puede lograrse que sea muy rápida, resultando entonces apta para la fabricación industrial del amoníaco. La reacción es



Este procedimiento ha sido patentado por Frank y Caro en 1904. La reacción es exotérmica; desprende unas 2,000 calorías por kilogramo de N H_3 obtenido. Se inicia fácilmente acelerándose rápidamente en velocidad. Tiene lugar en un autoclave. Se vierte lentamente y agitando la cyanamida cálcica sobre el agua, o mejor sobre las aguas-madres de una operación anterior. Conviene ventilar bien durante la operación para alejar el acetileno producido por el carburo no transformado. Se añade sosa y cal; se cierra el autoclave y se introduce vapor hasta obtener una presión de 3 ó 4 atm. En estas condiciones ya se inicia la reacción y se desprenden rápidamente N H_3 y vapor de agua, tanto que es preciso disminuir la presión regulándole mediante un juego de válvulas apropiado. Sin embargo, la presión alcanza fácilmente 12 a 15 atm. en veinte minutos para disminuir seguidamente. Se hace llegar nuevamente un poco de vapor para que arrastre el gas amoníaco de la solución y finalmente se filtra.

Pueden tratarse de este modo hasta 3,000 y 3,500 kilogramos de cyanamida cálcica. El residuo pastoso apenas retiene 0,2 por 100 de gas N H_3 en disolución.

La mezcla de gas N H_3 y vapor de agua puede ser: o bien absorbida directamente para obtener sul-

fato amónico de concentración elevada, o bien enviada a una columna de rectificación que producirá un gas amoníaco bastante puro para poderlo oxidar directamente sin temor a deteriorar el catalizador. Con el autoclave pueden producirse 8 t. diarias de sulfato amónico. Conviene obtener al final de la operación en el interior del autoclave una masa suficientemente fluida para poder retirarla con facilidad, por lo que conviene que esta masa retenga bastante agua. Varios perfeccionamientos se han ideado para lograrlo: empleo del cloruro cálcico, que siendo muy ávido del agua, la retiene; instalación de un condensador que produzca su efecto sobre los vapores amoniacales, recogiendo en el autoclave parte del agua condensada.

Este procedimiento puede recibir modificaciones importantes. Por ejemplo, en el método Lidholm (1910), la cyanamida se calienta con una disolución de un carbonato alcalino, o de un álcali caustico y se somete luego a la acción de una corriente de gas carbónico.

Collet y Eckardt (1911) tratan en caliente la cyanamida por una disolución de nitrato cálcico de 120° a 250° C. El residuo se satura por medio del ácido nítrico y se seca, proporcionando nitrato cálcico y amoníaco.

(Se continuará)

BIBLIOGRAFÍA

Anuario de Minería, Metalurgia, Electricidad y demás Industrias de España, publicado por la *Revista Minera, Metalurgia y de Ingeniería*, bajo la dirección de D. Adriano Contreras, ingeniero de minas, ex profesor de la Escuela de Ingenieros de Minas, y D. Ramón Oriol, ingeniero de minas.—Tomo XX.—Año 1920.—Un volumen en 8.°, de 1,300 páginas.—*Revista Minera*, Villalar, 3.—Precio, encuadernado en tela, 8'50 pesetas en Madrid.

Se ha puesto a la venta el tomo XX de este importante y conocido Anuario, que con éxito creciente viene publicando la *Revista Minera* hace veinticinco años.

Contiene, cuidadosamente rectificados, todos los datos que puedan interesar a ingenieros, mineros e industriales, entre otros todas las minas, Sociedades mineras, metalúrgicas, eléctricas y químicas establecidas en España, con su domicilio, capital, Consejo de Administración, directores, etc., las fábricas metalúrgicas y de industrias químicas, las Compañías de ferrocarriles de interés general y mineros, las leyes y disposiciones oficiales referentes a la industria, promulgadas con posterioridad al tomo anterior del Anuario, y una reseña alfabética de las industrias de España.

Por último, contiene las listas de todos los ingenieros españoles y extranjeros domiciliados en España, con sus domicilios y destinos, y los escalafones de los Cuerpos de Ingenieros civiles del Estado.

Es, en suma, este libro el antiguo Anuario de la industria española, y su larga vida es la mejor señal del favor que el público lo dispensa.

A. Artís, impresor : Calle de Vich, 16 : Teléf. G. 1471 : Barcelona