

Combustibles usados en las industrias y especialmente en locomotoras

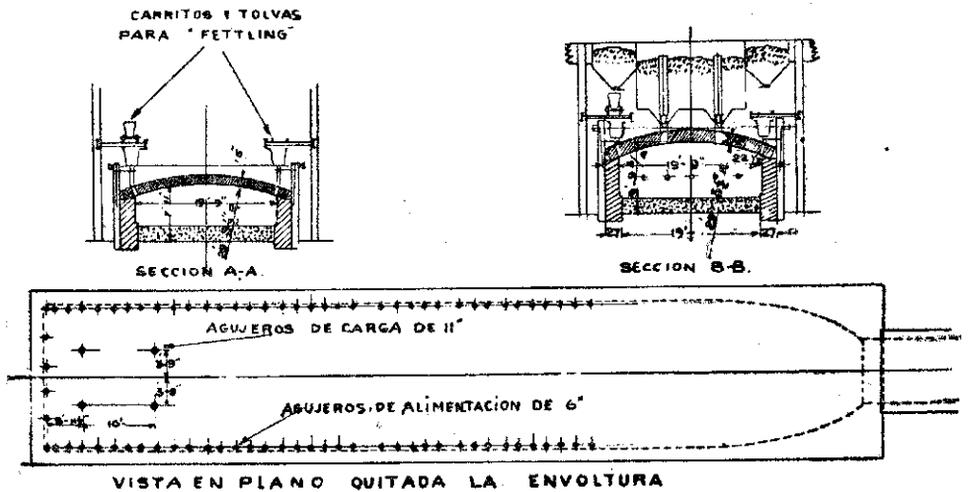
POR

RODOLFO JARAMILLO B.

(Conclusión)

«Al otro extremo del horno, llamado comunmente «de espumar» o «frente», la construcción es muy sólida para resistir el empuje del hogar. Esta consiste en un block de ladrillo de seis pies de ancho por tres pies de alto, el cual se angosta al

FIG. 21
HORNO DE REVERBERO EN QUESE
EMPLEA CARBON PULVERIZADO



espesor de dos pies seis pulgadas en la garganta que está situada a cuatro pies 9 pulgadas de altura.

«El techo en el frente del fuego es de ladrillos de sílice de 20 pulgadas. La altura en el nacimiento del techo es de siete pies nueve y cuarto pulgadas sobre el fondo del hogar de cuarzo. La línea central está a nueve pies nueve tres cuarto pulgadas sobre el mismo punto. El radio interior del techo es de veinte y nueve pies tres y media pulgadas.

«Cuando el piso está relleno, el centro del arco interior queda de 7 pies 9 $\frac{3}{4}$ pulgadas a 7 pies 11 $\frac{3}{4}$ pulgadas de altura sobre el hogar y más o menos a 6 pies 8 pulgadas sobre la línea de espumar, y a 4 pies 8 pulgadas sobre el centro de los quemadores de carbón.

«El alto del arco es mantenido en un largo de 34 pies desde la muralla de fuego. En los 12 pies siguientes, el arco baja 22 $\frac{3}{4}$ pulgadas. Esta altura continúa recta a través de la garganta del horno.

«Los ladrillos de sílice de 20 pulgadas están colocados en un largo de 46 pies, es decir, hasta el fin de la parte inclinada del techo. El resto es hecho de ladrillos de 15 pulgadas.

«No hay puertas laterales en el horno. Al principio, fueron construídas cada 12 pies, pero después fueron rellenas, y actualmente las murallas laterales son continuas y de un espesor de 22 $\frac{1}{2}$ pulgadas.

«El hogar es de sílice pisonado ahí mismo. No se ha usado un aglutinante, aunque es posible que se hubieran obtenido mejores resultados si esto se hubiera hecho. Después de cinco días de estar el horno encendido, se usaron 50 toneladas de eje de alta calidad para saturar el fondo.

«Si se observaba que salía vapor de las murallas, se cortaba el fuego por veinticuatro horas, a fin de permitir que la humedad escapara. Algunos parches del fondo se ampollaron, pero no lo suficiente para impedir las operaciones. El fondo es casi plano, teniendo 24 pulgadas de espesor en las murallas de los extremos y 22 pulgadas en frente del agujero de sangrar. Al construir las murallas laterales, se introdujeron en ellas listones de madera para la expansión. Estos listones de $\frac{1}{4}$ " de espesor fueron colocados cada cuatro ladrillos en el interior, y cada seis ladrillos en la parte exterior. Después de encender el horno, se quemaron, dejando espacio para la expansión horizontal. El arco es formado de secciones de 10 a 12 pies de ancho con cuñas de madera de tres a cuatro pulgadas entre ellas, para la expansión.

«Las murallas laterales son interiormente rectas, hasta la distancia de 26 pies de la garganta, donde ellas se encorvan hacia dentro, disminuyendo progresivamente la distancia entre ellas desde 19 pies 9 pulgadas hasta 8 pies ocho pulgadas, que tiene en la garganta. La altura de la abertura en ese punto es de 4 pies 3 pulgadas

al centro, y tres pies nueve pulgadas en los lados. El arco en ese punto está a cuatro pies ocho pulgadas sobre la línea de espumar.

«Desde la garganta, un tubo recto de ocho pies ocho pulgadas de ancho conduce a las calderas, que aprovechan los gases perdidos de los hornos, y a la chimenea.

«En los lados de este tubo hay aberturas para limpiar cualquier depósito de ceniza que se acumule

«Se ha dejado una abertura en el frente de la garganta, levantando el fondo del tubo unas diez y ocho pulgadas sobre ésta, y se ha colocado una puerta en esa abertura. Ella sirve para remover las cenizas que puedan fundirse y depositarse en la garganta. La puerta de espumar está colocada a un lado del horno a diez y seis pies seis pulgadas de la garganta. Esta puerta de dos pies seis pulgadas de ancho por quince pulgadas de alto, permite que la escoria se escurra hacia afuera, no pasando de un nivel, en el horno, de catorce y media pulgadas sobre la altura del hogar en el agujero de sangrar. Al lado de la puerta de espumar se ha colocado una caja de fierro fundido, revestida de arcilla, a fin de recoger el mineral en caso de que escurra hacia afuera con la escoria. De esta caja, el canal conductor de escorias se encorva casi paralelamente al horno, y bota la escoria en cucharas de 25 toneladas, montadas en carros que corren por una vía perpendicular al horno y debajo de él.

«El horno es alimentado de una manera especial. Cuando se cargó por la primera vez, casi toda la carga fué introducida por dos embudos colocados cerca del extremo del fuego, siguiendo la práctica del Oeste. El primer embudo cargaba por dos agujeros de once pulgadas de diámetro y distanciados de siete pies seis pulgadas, colocados a ocho pies de la cara exterior de la muralla de fuego. El segundo embudo descargaba por dos agujeros semejantes, colocados a diez y ocho pies de la muralla de fuego. Actualmente casi toda la carga se introduce por embudos a lo largo de las murallas laterales. Encima de ellas y sobre el extremo del fuego, hay grandes depósitos de mineral, los cuales descargan sobre pequeños carros de volcar. Estos carros corren sobre vías colgantes, de 24" de trocha. Bajo estas vías hay dos canales a todo lo largo de las murallas laterales y sobre ellas. Estas canales son llenadas por los carros. Cada canal tiene agujeros en el fondo, distanciados de dos pies; estos agujeros tienen válvulas de corredera que les permiten comunicarse con cañerías de seis pulgadas de diámetro, las cuales pasan a través del techo del horno y descargan de una manera muy uniforme el material. Como no hay puertas en el horno, y estas cañerías de seis pulgadas son ajustadas con arcilla en el techo, no entra más aire al horno que el que se ha introducido a voluntad por el extremo del fuego.

«Las cañerías forman una línea continua de agujeros de carga, la que se extiende a todo lo largo del horno en el lado opuesto a la puerta de espumar. En el lado de la puerta, los agujeros de carga llegan sólo hasta ella, pues como al espumar entra aire frío por dicha puerta, el cargar mineral cerca de ella introduciría perturbaciones.

«En frente de la muralla de fuego hay otros seis agujeros semejantes.

«Las murallas son sujetadas por vigas «I» de doce pulgadas, en pares espaciadas cinco pies entre éstos. Ellas están acuñadas abajo por cuñas de madera contra abrazaderas de fierro, colocadas en las bases de concreto. Las bases de concreto están amarradas entre ellas por tirantes de $1\frac{1}{2}$ pulgadas que pasan a través del horno.

«El carbón pulverizado es introducido por cinco cañerías de cinco pulgadas de diámetro. Una de estas cañerías está colocada en el eje central del horno y las otras en la misma horizontal con la primera, separadas tres pies tres pulgadas centro a centro unas de otras. Estas cañerías están a tres pies dos pulgadas sobre la superficie del hogar del horno y a más o menos dos pies sobre la línea de espumar»

APARATOS DE CARBON PULVERIZADO

«El carbón en bruto usado es de $\frac{3}{4}$ " o menos y contiene alrededor de 7% de humedad. Es secado en un secador Rugles-Coles de 70" de diámetro y 35 pies de largo. Una tonelada de carbón quemada en la parrilla seca 40 a 50 toneladas de carbón hasta 0,5% de humedad, y cuyo grado de humedad aumenta hasta 2.4% después de molido. Se secan alrededor de 10 toneladas de carbón por hora. El carbón es molido en molinos Raymond. Más o menos 95% pasa por malla número 100 y 80 por ciento por malla número 200.

«El carbón pulverizado es aspirado por un ventilador dentro de separadores colocados encima del techo del edificio. De ellos cae a un transportador de hélice, el cual lo induce a depósitos colocados cerca del extremo de fuego del horno. El carbón es alimentado a los hornos por medio de transportadores automáticos de hélice. «Sturtevant». Estos transportadores dejan caer el carbón en polvo más o menos a dos pies de la entrada de los quemadores, en el horno. Cada cañería de carbón puede ser cerrada por medio de una válvula de corredera, y cualquiera de los transportadores de hélice puede ser parado, desconectando los engranajes que los mueven. En esta forma se puede hacer funcionar cualquiera de los cinco quemadores, a cualquier velocidad dentro de límites muy grandes. También se puede variar la cantidad de aire de cada quemador y aún cortarla enteramente.

«Generalmente los cinco quemadores están funcionando. Cada uno de ellos alimenta alrededor de 13.5 toneladas de carbón pulverizado por día, o al rededor de 19 libras por minuto. El total de carbón introducido es más o menos 67 toneladas por día.

«El aire es suministrado por un ventilador de cuatro pies marca «Sturtevant», que corre de 1 300 a 1 400 revoluciones por minuto. El aire que proporciona este soplador no es suficiente para la combustión del carbón. Por eso se dejan agujeros entre los quemadores. Estas aberturas pueden ser reducidas por medio de ladrillos sueltos, de modo que la cantidad de aire puede ser graduada fácilmente.

«La presión de aire es más o menos de 0.25 pulgadas de agua en la muralla de fuego y alrededor de 1.2 pulgadas en la garganta. La combustión es muy buena. Una de las pruebas efectuadas durante diez días (Enero 9 a 19 de 1914) dió los siguientes promedios:

Toneladas de carbón consumidas en 24 horas.	69.7
Temperatura de los gases en la garganta.	922°C.
SO y CO ₂ por ciento.	12.3
Oxígeno por ciento.	6.5
SO ³ por ciento.	1.14

«Durante esta prueba, el promedio del mineral cargado fué de 409 toneladas en 24 horas. Esto da una razón de 5.9 partes de mineral por una de carbón. Se han alcanzado posteriormente relaciones mucho más altas. El promedio en Marzo de 1914 fué de 6.84 Esta relación del carbón depende principalmente de la composición de la carga y de la naturaleza de la escoria producida.

«Podría ser criticada la baja temperatura de los gases en la garganta, 922° C. La práctica usual de los fundidores del Oeste es alcanzar a una temperatura de 1 200 a 1 300° C. en este punto. Sin embargo, como el calor de la combustión en este caso es utilizado en fundir mineral a lo largo de las murallas laterales y, por lo tanto, habiendo los gases hecho más trabajo que el corriente, éstos al escaparse están relativamente fríos. La función de un horno de reverbero es fundir y nó de generar vapor, por lo cual mientras más calor sea absorbido en el horno, más eficiente será la operación y más fríos saldrán los gases. La gran ventaja del carbón pulverizado consiste en la ausencia de cambios bruscos de temperatura, debido a arreglos de partillas o limpiaduras de ellas y del hogar y, por lo tanto, un gran incremento en la relación del mineral por combustible quemado. La operación de la alimentación del carbón, siendo puramente mecánica, está bajo el control directo e inmediato del Jefe del horno y responde instantáneamente a su regulación. Además, el me-

todo especial de alimentación del mineral, casi continua, evita los cambios de temperatura comunes al cargar grandes cantidades de mineral frío. Por estas dos razones, la curva de temperatura en estos hornos es representada por una línea horizontal, que sólo sube o baja en conformidad con la velocidad del aparato de alimentación.

«La altura máxima del baño del mineral en fusión y de escoria es de 22 pulgadas. Siempre hay ocho pulgadas de mineral en fusión, el cual llega hasta seis pulgadas debajo de la plancha de espumar, de modo que, después de escoriar, hay seis pulgadas de escoria y ocho de mineral en fusión, o sea, una profundidad mínima de catorce pulgadas. A la puerta de escoriar se le coloca una capa de arena de ocho pulgadas, de modo de que inmediatamente antes de escoriar la capa de escoria sea de catorce pulgadas de profundidad. Nunca hay más de 40 o 50 toneladas de escoria en el horno.

«Cuando se reconstruya este horno o al proyectar uno nuevo, conviene ensanchar el hogar a fin de tener mayor cantidad de mineral en fusión, lo que la experiencia ha demostrado ser necesario.

«Como este sistema de quemar carbón y de alimentar mineral ha resultado satisfactorio, será puesto en uso general y esto traerá muchos mejoramientos, tanto en la construcción como en el funcionamiento. No hay duda que la fundición en hornos de reverbero de esta construcción, será más barata que la de altos hornos y que una mayor variedad de minerales podrá ser fundida en ellos, que en los tipos antiguos de horno a carbón o a petróleo».

Además de la instalación anteriormente descrita, se han hecho instalaciones semejantes en la «Washoe Reduction Works» y en la «Anaconda Plant».

En la primera se obtuvieron los siguientes resultados en una prueba de nueve días:

Promedio de toneladas	Relacion de combustible
3 días 405 toneladas fundidas.....	6.8
3 días antes de limpiar 497, fds.....	6.7
3 días después de limpiar 539, fds.....	7.3

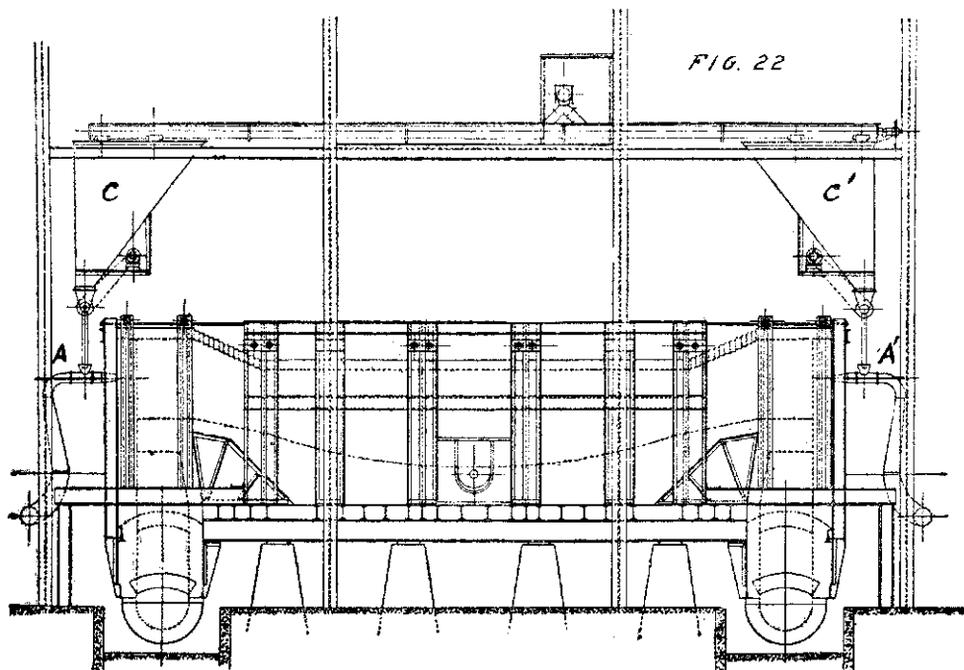
Como se puede ver por estos números, la relación del combustible mejora los resultados obtenidos en la otra instalación.

En esta planta, el horno de reverbero es más grande, teniendo 124 pies de largo por 21 de ancho. Se ha cambiado la posición del agujero de sangrar, el cual está al frente en vez de al lado. Los gases usados salen del horno por conductos de ladrillo a cualquiera de las baterías de calderas Stirling de 650 H.P. cada batería.

5.º—*Hornos Open Hearth (Siemens-Martin) para la fundición de acero.*—Gran parte del acero fabricado en Estados Unidos se obtiene fundiendo fierro en lingotes mezclados con fierro viejo y algunos otros metales y metaloides para darles características especiales, en hornos open-hearth (Siemens-Martin) (Fig. XXII.) Como se sabe, en estos hornos el combustible actúa en contacto con el material por fundir y una llama oxidante produce la decarburación del lingote. Las características principales de estos hornos son:

1.º.—Un corazón núcleo formado de ladrillos refractarios y forrado de un revestimiento básico o ácido.

2.º.—Quemadores que introducen el combustible dentro del mismo corazón. Estos quemadores usaban hasta hace poco petróleo o gas. El gas es producido ya sea como un sub-producto de la fabricación del coque en la mayor parte de los casos en «gas producers», hornos que queman una parte del carbón para producir el calor necesario para el desprendimiento de los gases. En estos «gas producers» no se obtiene el coque del carbón. La razón de usar los «gas producers» en vez de los hornos productores de coque y gas es que el precio de la primera instalación es muy bajo y que en plantas de no grandes dimensiones no se justifica la instalación de hornos para fabricar también el coque y aprovechar los sub-productos. Como decíamos, la



mayor parte de las plantas son hornos open-hearth en Estados Unidos, funcionan con gas producers. Se pierde en ellas casi todo el carbono fijo en el carbón, y la pérdida es tanto mayor cuanto más alto sea el contenido en carbono del carbón.

Por otra parte, el precio del petróleo en el mundo, tiende cada día a aumentar debido al agotamiento de muchos pozos y a su aplicación en usos en que es irremplazable.

En estas condiciones se ha iniciado la aplicación del carbón pulverizado a los hornos open-hearth. Usándolo se aprovechan todas las materias combustibles del carbón. Se calcula que como un promedio se puede economizar un 30% de combustible usando carbón pulverizado en comparación con «gas producers». La economía en dinero no es tan subida debido al mayor costo de la instalación para preparar el carbón y al gasto de energía en esa preparación.

El consumo de carbón por tonelada de 2 000 libras de acero fundido ha variado entre 450 y 500 libras.

La producción del horno número 3 de la Atlantic Co. en Atlanta, Georgia en un horno de 60 toneladas, es de 3 000 toneladas mensuales. El consumo de carbón es de 440 libras por toneladas de 2 000 libras y el promedio de la duración de la hornada es de once horas entre sangría y sangría.

Se ha observado que la oxidación del lingote disminuye con el uso del carbón pulverizado entre uno y dos por ciento, en comparación con los «gas producers», debido a que en los gases de estos últimos hay mayor existencia de oxígeno libre.

Como se puede ver en la figura XXII, el horno tiene quemadores opuestos A—A, los cuales son alimentados de carbón pulverizado, desde los estanques C—C, situados encima de cada extremo del horno por medio de alimentadores normales de hélice, los que dejan caer el carbón a la cámara de mezcla del quemador (Fig. XXIII). El carbón cae por el tubo A y el aire entra por el tubo B (Figs. XXII y XXIII). Por los conos D, C y E se puede obtener aire libre adicional.

Los quemadores opuestos A y A, se usan alternativamente, a fin de que el aire de alimentación pase por las cámaras de calentamiento previo, situadas bajo el horno y entre caliente al hogar del horno, con lo que se obtiene un mayor rendimiento en la producción y una mejor combustión del carbón.

Las plantas pulverizadoras son las normales empleadas para cualquiera clase de instalaciones de carbón pulverizado y que ya han sido descritas anteriormente.

A fin de evitar el depósito de cenizas en los conductos del precalentador, debido a que los gases usados de la combustión se hacen pasar por ellos para producir el calentamiento previo del aire, se ha colocado una cámara móvil entre el principio de esos tubos y el fin del horno. Si hay algunas cenizas en los gases usados, ella se deposita en esa cámara, la que periódicamente se retira y se votan las cenizas

depositadas. Esta operación se efectúa en unos cuarenta minutos. Los tubos de la cámara de precalentamiento o regeneración que mejor resultado han dado han sido de nueve por once pulgadas de sección. Conviene dejar aberturas frente a las puntas de los tubos de regeneración, a fin de soplar cuando sea necesario la ceniza que pueda depositarse en ellos. Los ladrillos de los tubos de regeneración que más luego se gastan son los dos primeros de ambas puntas. Ellos duran entre 150 y 160 hornadas. Se dejan aberturas apropiadas en las cámaras de regeneración que faciliten el cambio de esos ladrillos.

Se puede ver el desarrollo que han tomado las instalaciones Open-Hearth por la lista de las hechas en los últimos años en Estados Unidos.

Será de especial importancia para Chile el uso de carbón pulverizado en los hornos Open-Hearth cuando se instale la industria del hierro, pues entonces se podrán aprovechar con todo éxito nuestros carbones en la refinación del acero.

LISTA DE LAS INSTALACIONES OPEN-HEARTH, HECHAS EN LOS ULTIMOS CUATRO AÑOS
EN ESTADOS UNIDOS

Nombre de la Compañía	Ciudad	Estado	N.º de hornos
American Steel y Wire C ^o	Donora	Pennsylvania	13.
Atlantic Steel C ^o	Atlanta	Georgia	16.
Carnegie Steel C ^o	Homestead	Pennsylvania	1.
Carnegie Steel C ^o	Clairtonz	Pennsylvania	14.
Bethlehem Steel C ^o	Lebanon	Pennsylvania	4.
Bethlehem Steel C ^o	S. Bethlehem	Pennsylvania	2
American Rolling M. C ^o	Middletown	Ohio	4.

6^o.—*Calderos de buques*.—En lo que el carbón pulverizado ha sido aplicado con menos extensión, ha sido en calderos de buques. No conocemos otra aplicación hasta el presente que la hecha en el buque guarda-costa de la Marina de Estados Unidos «Gem» y que lo fué con fines enteramente experimentales.

La «American Submarine Defence Asociation», era una Sociedad que tenía

por objeto estudiar todos los medios de hacer menos eficaz el ataque de los submarinos a los buques. Uno de los mayores inconvenientes del actual uso del carbón en trozos, es el producir un humo espeso, que hacía muy visible el buque para los submarinos. Por esta causa, se trató durante la guerra de disminuir en lo posible el humo. Se emplearon carbones especiales y también en gran extensión el petróleo.

Con el fin experimental citado, el Gobierno Americano puso a disposición de la «American Submarine Defence Association» dicho buque, en el cual se llevaron a cabo experiencias comparativas entre el petróleo usado por la Marina Americana y dos nuevos combustibles, el «colloidal fuel», que es una mezcla de 70% de petróleo corriente y 30 % de carbón pulverizado, y el carbón pulverizado. Nos referimos únicamente a los ensayos hechos con este último; materia de este trabajo.

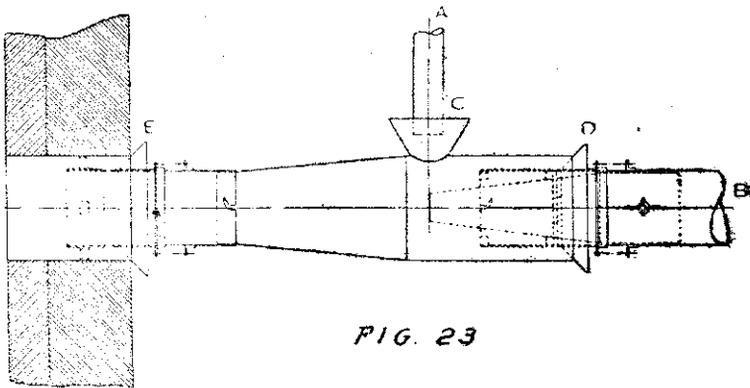


FIG. 23

Amablemente invitados por la «American Submarine Defence Association», hicimos varios viajes a New Haven, puerto de partida de los viajes de experiencias.

El «Gem» es un buque de 167 pies de largo y su equipo de calderos consiste en dos calderas «Normand» de cinco mil pies cuadrados de superficie de calefacción. La presión máxima de trabajos en los calderos es de 250 libras y su combustible corriente es el petróleo, inyectado al fogón hasta por siete quemadores «Schutte y Koerting» que funcionan a tiraje forzado.

Se ensayaron tres sistemas de carbón pulverizado, el «Fuller» el de la «Locomotive Pulverized C.» y el de la «General Electric C.», los dos primeros de alimentación a transportadores helicoidales, y el tercero con alimentación a aire en presión. El último tuvo frecuentes dificultades en la continuidad de la alimentación y los dos primeros trabajaron correctamente.

Se instalaron en el puente, a cada lado de la chimenea, dos estanques de fierro que almacenaban una 7 000 libras de carbón pulverizado. El carbón usado fué de

Pocahontas con 11% de cenizas y 19% de materias volátiles y de poder calorífico de más o menos unos 13 500 B. T. U. Es interesante mencionar que este carbón permaneció pulverizado durante dos meses en el muelle de New Haven, almacenado en sacos de cemento.

La descripción de la instalación hecha por la «Fuller Engineering C.» es la siguiente:

Se colocó un arco de ladrillos refractarios apoyado en ambos lados y que se extendía desde la plancha delantera hasta la mitad del fogón y más o menos a tres y medio pies sobre la base de este último. Se instalaron dos quemadores de carbón pulverizado a una altura poco menor que la parte baja del arco, a fin de hacer llama reversible.

Bajo el fogón de los estanques-depósitos de carbón pulverizado, corren longitudinalmente trasportadores de hélice que dejan caer el carbón a una cámara de mezcla. A ésta entra el aire por una cañería de cinco pulgadas de diámetro. La presión del aire en dicha cámara es de dos pulgadas de agua y la corriente es proporcionada por un ventilador «Monogram» de velocidad constante, número cuatro, conectado directamente a un motor eléctrico de cinco H.P. El volumen de aire es controlado por dos válvulas de corredera.

La mezcla de carbón y aire se verificaba a unos cuatro pies del fogón. El aire proporcionado por el ventilador sólo correspondía al 15% del necesario para la combustión; el 85% restante era introducido por las puertas del cenicero y por los agujeros de los quemadores, a una presión de más o menos 8 por 10 pulgadas de agua.

La temperatura de los gases de escape fué de 700° F. y el CO² alcanzó a doce y medio por ciento.

Trabajó solo una caldera con carbón pulverizado, y se alcanzó la velocidad de diez y seis millas por hora.

El humo fué muy tenue.

D.—SISTEMAS EMPLEADOS EN LOCOMOTORAS

Las locomotoras modernas necesitan un alto coeficiente de evaporación, el cual puede solo obtenerse económicamente quemando el combustible sólido en otra forma que la usada comúnmente, o sea, sobre parrillas, a fin de evitar la pérdida debida al carboncillo que se escapa por la chimenea y parrillas y a la combustión imperfecta.

Las locomotoras a vapor deberían proyectarse de modo que funcionaran en forma que se aproxime lo más posible a la manera como lo hacen las locomotoras eléctricas, esto es, sin humo, hollín, cenizas ni chispas, con menos ruido y menor

pérdida de tiempo en preparación y en forma que permita aumentar el recorrido diario y el tiempo de servicio entre reparaciones generales.

La eliminación del trabajo pesado de alimentar el fogón a mano y de limpiar fuegos, etc., hace posible el empleo de operarios de mayor capacidad y más aptos para ascender a maquinistas.

A la locomotora del porvenir se le exigirá que desarrolle el máximo de esfuerzo de tracción por unidad de peso y con el mínimo de costo en proporción a dicho esfuerzo y al mismo tiempo con las menores probabilidades de atrasos a causa de descomposturas.

El carbón pulverizado ha conseguido cumplir con las condiciones antedichas, porque:

1.º.—Produce una economía de quince a veinticinco por ciento de carbón en comparación con la alimentación a mano y pueden aprovecharse los carbones más molidos de carbón, con ventajas apreciables.

2.º.—Permite mantener la temperatura del fogón y capacidad del caldero equivalentes a las que se obtienen empleando el petróleo como combustible.

3.º.—Elimina las pérdidas que se originan en los productos de la combustión y los riesgos de incendios, y además, permite el aumento de sección de las boquillas de escape del vapor a la atmósfera, con un aumento correlativo de la eficiencia del vapor empleado.

Se puede decir que cualquier combustible sólido que en forma de polvo seco y pulverizado, sea susceptible de ser quemado en sus dos terceras partes, se presta para la generación de vapor en esta forma.

Las clases de carbón que se consideran generalmente como pérdidas o de poco valor, tales como carbón molido, barreduras, polvo y residuo de harneado, así como la lignita y la turba, pueden ser empleadas, lo mismo que las de tamaño más grande y de mejor calidad.

Las condiciones especiales que se han tenido en vista al proyectar los dispositivos para quemar carbón pulverizado son:

1.º.—Que sean aplicables fácilmente a locomotoras corrientes ya sean nuevas o en servicio.

2.º.—Normalizar las piezas de que se componen y hacer que los detalles sean intercambiables para todos los tipos de máquinas.

3.º.—Colocar todo lo que sea posible del aparato y de la manera más compacta que sea practicable, en el tender, simplificando al mismo tiempo lo más posible, los dispositivos que sirvan para trasportar el carbón a la máquina y, finalmente, dejar libre la casucha del maquinista de toda clase de aparatos a excepción de las llaves de manejo.

4°.—Eliminar todo trabajo manual en la manipulación del combustible, fuego o cenizas.

5°.—Poder regular de una manera efectiva la alimentación del combustible, encender fuego rápidamente, levantar vapor, obtener buena combustión, regularidad de presión en el caldero, temperatura uniforme de fogón y capacidad máxima de caldero, con pérdida mínima de calor.

6°.—Concentrar la regulación completa en tres llaves, a saber: alimentación de combustible, provisión de aire y tiraje artificial (este último es empleado cuando la locomotora no está gastando vapor).

7°.—Consultar un hogar de ladrillo refractario, que permita fácil acceso a todas partes del fogón, para su inspección y conservación.

8°.—Asegurar una provisión de combustible seco en toda clase de tiempo.

9°.—Eliminar las herramientas del fogonero tales como palas, rastrillos, picafuegos y sacudidores de parrillas, evitar el reflejo del fuego, calor excesivo, descenso de la temperatura en el fogón y corriente de aire al abrir la puerta de este último.

10.—Disminuir el ruido y el polvo en la casucha.

11.—Reducir el trabajo de la casa de máquinas, demoras y gastos, tales como encender, preparar, limpiar y apagar fuegos, etc.

12.—Hacer que los aparatos para quemar y almacenar el carbón sean fácilmente adaptables al empleo del petróleo.

Los siguientes son los cambios que hay que hacer en las locomotoras existentes para adaptarlas al empleo del carbón pulverizado:

Caja de humo.—Quitar el deflector, rejillas, agujeros de inspección y colectores de carboncillo; aumentar la abertura de la tobera de escape.

Fogón.—Quitar las parrillas, ceniceros, puerta y varillaje de maniobra, utilizar los tubos de acero y arco de ladrillo, e instalar el hogar revestido con ladrillos a fuego, arco primario, mezcladores de carbón y aire y boquilla.

Casucha.—Instalar las llaves reguladoras para la puerta del fogón y provisión de carbón y aire.

Ténder.—Instalar el depósito de combustible, así como los aparatos para transportar, alimentar, mezclar e introducir el carbón y aire bajo presión y la turbina a vapor o mecanismo motor.

Conexiones entre máquina y ténder.—Estas consisten en una o más mangueras que comunican las salidas del carbón y del aire bajo presión con las boquillas respectivas, que se encuentran en la máquina. Se emplean conductos metálicos flexibles para la conducción del aire bajo presión y del combustible.

Funcionamiento.—Para encender el fuego, se abre el soplador, se introduce un puñado de hilachas encendidas por la puerta del fogón y se coloca en el piso del

hogar un poco adelante del arco primario; después de lo cual se ponen en movimiento el soplador y uno de los alimentadores de combustible y otro de aire.

De 45 a 60 minutos son, por lo general, suficientes para levantar 200 libras de presión, de agua a 40° F.

Después de encender el fuego, la alimentación de combustible y aire se regula según las necesidades del trabajo de tracción, empleándose el soplador sólo cuando la máquina no gasta vapor.

El procedimiento de alimentación y combustión puede describirse como sigue: el combustible preparado cae por gravedad del estanque cerrado al transportador de hélice, el cual lo conduce a los alimentadores de carbón y aire bajo presión, donde se mezcla completamente y es impelido por el aire con presión al través de las mangueras de conexión a las boquillas inyectoras de la máquina e introducido por éstas a las mezcladoras de combustible con aire. A estos mezcladores se introduce una cantidad adicional de aire, y la mezcla en esta forma es aspirada, en seguida, dentro del hogar por el tiraje de la caja de humo del caldero. La llama producida cuando la mezcla entra al hogar, adquiere su mayor temperatura (2 500° a 2 900°F.) en la zona delantera de combustión, debajo del arco principal, y es en este punto donde por medio de una nueva cantidad de aire aspirado por el tiraje de la caja de humo, se completa, finalmente, el procedimiento de combustión.

El análisis de los gases de la caja de humo da una cantidad de bióxido de carbono (CO₂) entre 13 y 14 por ciento cuando se quema carbón a razón de 3 000 libras por hora, y entre 15 y 16 por ciento cuando el consumo es de 4 000 libras por hora, de manera que en este caso no hay disminución apreciable de rendimiento, como sucede cuando se emplea carbón en trozos.

La pérdida de combustible por la chimenea, el descenso de la temperatura del fogón y la corriente de aire producida por la apertura de la puerta con su correspondiente variación de temperatura y pérdidas, son todos eliminados con el empleo del carbón pulverizado.

Un fogonero competente puede mantener una presión de vapor que fluctúa hasta dos libras menos que la presión máxima, sin escapar vapor por la válvula de seguridad.

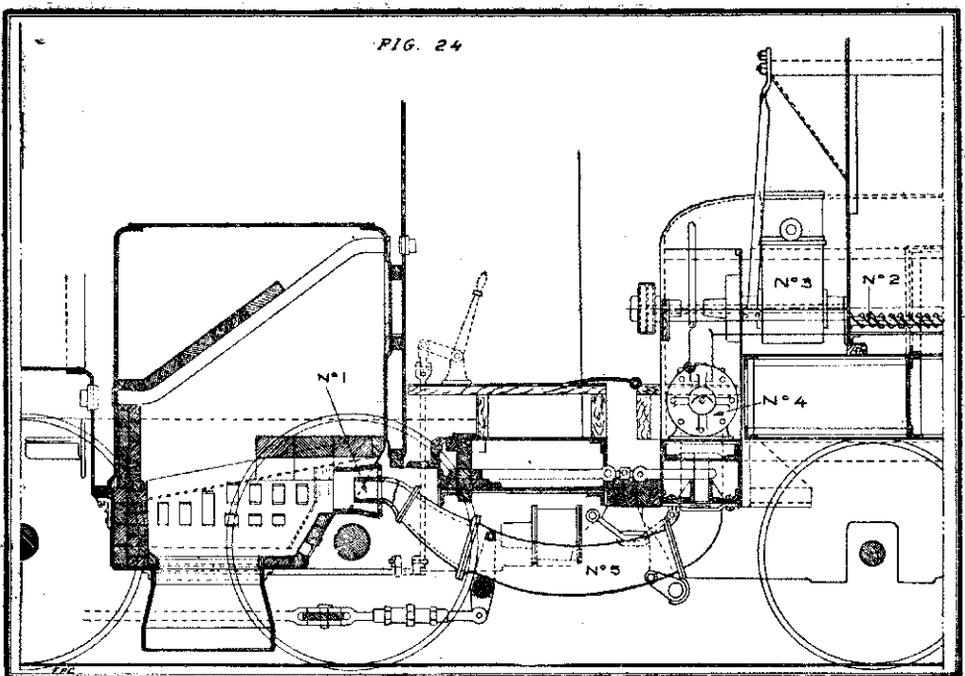
Como cada uno de los alimentadores de combustible y aire bajo presión tiene capacidad para un consumo de 500 a 4 000 libras de carbón por hora y como de 1 a 5 de éstos pueden ser colocados en el ténder, no hay dificultad para satisfacer las necesidades de cualquier caldero.

Quemador.—(N.º 1).—Este se ha consultado lo más grande que se puede en el espacio disponible, lo que permite mantener la velocidad del carbón pulverizado

lo más baja posible. Las paletas ampliadoras y numerosas aberturas para el aire producen la dispersión del combustible y su mezcla completa con el aire, obteniendo, de esta manera, una propagación y combustión rápidas y completas de la llama, en el quemador propiamente dicho.

Alimentadores.—(N.º 2).—Se emplean dos o cuatro en combinación con una maquina de movimiento alternativo, estando todo a la vista y accesible, van apertados al frente del depósito de carbón y son movidos por medio de un piñón y dos engranajes de acero, formando en conjunto una sola combinación que no puede descentrarse. Uno solo de los alimentadores es suficiente para abastecer a una locomotora que trabaje al máximo de su capacidad.

Motor.—(N.º 3).—Es del tipo marino, máquina encerrada, de dos cilindros de movimiento alternativo, con regulación de más de 300 por ciento desde la casucha, sin sacrificio en la economía de vapor. Puede partir con quince libras de presión y emplear hasta 200 libras, si es necesario. Proporciona la alimentación máxima a 260 revoluciones, usando todos los alimentadores a la vez, y está construída para correr hasta a 800 revoluciones, en caso de emergencia. Desarrolla hasta ocho H.P., pero como los alimentadores sólo necesitan dos H.P., se obtiene una larga duración de la máquina y las reparaciones se reducen a un mínimo. El mecanismo es de fá-



SISTEMA FULLER

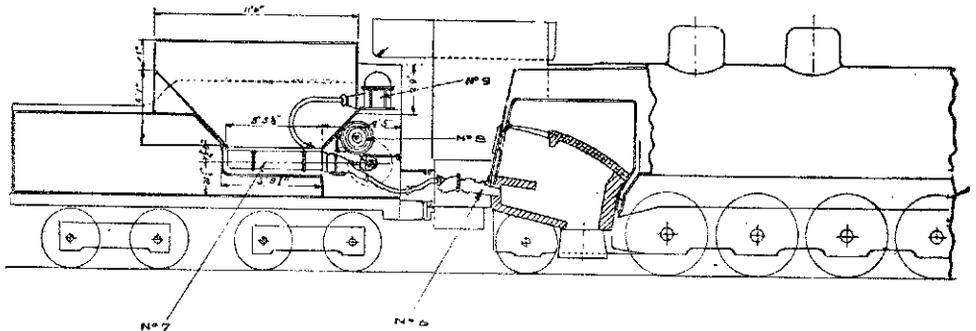
cil manejo y las reparaciones pueden ser efectuadas por cualquier mecánico de casa de máquinas.

Regulación.—Se obtiene hasta 300 por ciento de regulación desde la casucha del maquinista y 600 por ciento por medio de la transmisión de engranaje. No tiene válvula de mariposa.

Introducción de aire al fogón.—Hay amplia provisión de aire por numerosos agujeros colocados al frente, atrás y a los costados de la cámara de combustión, las aberturas de los costados pueden ser variadas simultáneamente en cualquier grado por medio de una palanca en la máquina, al alcance del fogonero, pudiéndose así graduar en todo tiempo la cantidad necesaria de exceso de aire. Las aberturas de adelante están colocadas en la parte inferior de la albañilería, con lo cual se evita el calor excesivo en el muro del frente y en el arco y el aire introducido asiste en la transformación el óxido de carbono (CO) en bióxido (CO₂).

Ventilador.—(N.º 4).—Este, que es del tipo hélice, va colocado debajo de la plataforma del tender, es movido por el mismo eje y está montado sobre el mismo marco que el alimentador. Lleva aceite o grasa suficiente para una semana y descarga el aire al través de un tubo (N.º 5) de 10 pulgadas, directamente al quemador a una presión estática de dos pulgadas o menos, si se desea.

FIG. 25



SISTEMA MUHLFELD

Fogón.—En este sistema se emplea un mayor número que el anterior, de tubos de arco entre la plancha delantera del fogón y el cielo de este último. También tiene arcos y muros de ladrillo, adicionales, lo que disminuye el espacio destinado a la combustión y aumenta la velocidad de la llama.

Quemadores.—(N.º 6).—Se usan tres relativamente pequeños, que se proveen

de carbón y de aire por medio de tubos de poca sección, los cuales exigen una corriente de alta velocidad para la introducción del aire auxiliar.

Alimentadores. (N.º 7).—Estos son tres y van colocados dentro de una gran pieza de fundición, que forma el fondo del depósito de carbón. Son movidos por una turbina a vapor unida a ruedas con diente regular, engranajes cónicos y acoplamientos. La disposición de este aparato tiene el inconveniente de ser poco accesible y difícil de ajustar y reparar, sobre todo los tres descansos posteriores, a los cuales no hay acceso sin levantar el estanque.

Motor. (N.º 8).—Este consiste en una turbina a vapor, que se puede regular desde la casucha del maquinista hasta 100 por ciento por medio de un regulador variable. Este motor trabaja en malas condiciones de economía a baja velocidad y no puede partir con baja presión de vapor. Tiene que correr a la más alta velocidad para alimentar el máximo de carbón necesario y sus piezas son pequeñas y delicadas.

Regulación.—Se puede obtener hasta cien por ciento desde la casucha del maquinista y 300 por ciento por medio de la transmisión de acoplamiento. Tiene tres válvulas de mariposa en el quemador.

Introducción del aire al fogón.—Esta se efectúa por agujeros colocados atrás de los costados, ninguno de los cuales es susceptible de graduarse en su abertura, de modo que se admite exceso de aire en todo tiempo, lo que puede producir enfriamiento cuando no se necesita. Sin embargo, en algunos casos esta abertura total puede ser insuficiente, lo que produce altas velocidades, con los inconvenientes consiguientes.

Ventilador.—(N.º 9).—Es del tipo centrífugo y va unido a una turbina a vapor separada. El aire es impelido a una presión de seis pulgadas a ocho pulgadas al través de tres tubos de tres pulgadas que describen un arco de 180° y descargan a tres mangueras de tres pulgadas antes de llegar al quemador.

E.—ENSAYOS EN NORTE AMERICA Y BRASIL.—VENTAJAS QUE HABRIA PARA NUESTROS FERROCARRILES EN EL EMPLEO DEL CARBON PULVERIZADO

En la sección que trata de la «Historia del uso del carbón pulverizado» se hace referencia a los primeros ensayos que se efectuaron con este objeto y que no tuvieron éxito.

Entre los que se han llevado a cabo posteriormente se pueden citar los siguientes, proporcionados por el Señor Muhlfeld:

Ensayo en una locomotora tipo «Atlantic».—Se empleó carbón pulverizado sin

lavar, de Kentucky, ochenta y tres por ciento del cual podía pasar por un arnero de 100 mallas por pulgada cuadrada.

Millas recorridas.....	171 00
Horas.....	3.87
Tren, número de carros.....	5.8
Tren, tonelaje.....	291 00
Velocidad en millas por hora.....	41.2
Esfuerzo de tracción en la barra de enganche....	2 711 00
Caballos de fuerza.....	319.5
Combustible consumido en toneladas.....	3.82
Agua consumida en galones.....	8 381 00
Combustible por caballo hora en libras.....	6.17
Agua por caballo hora en libras.....	56.48
Evaporación, libras de agua por libras de carbón	9.15
Evaporación, libras de agua y de a 212° F....	11.1
Rendimiento del caldero por ciento.....	77.00

Las muestras de gases tomadas en la caja de humo dieron los resultados siguientes:

Libras de carbón consumido por hora	POR CIENTO DE		
	CO ₂	CO	O
3.067	14.5	0	4.5
3.498	15.2	0	2.8
3.931	15.2	0	4.0
4.000	16.4	0.4	2.6

En una locomotora para carga, de diez ruedas, en tres ensayos se obtuvieron los resultados siguientes:

DETALLES	CARBÓN PULVERIZADO		
	1.—Bitum	2.—Bitum	3.—Bitum
Fineza, por ciento al través de 200 mallas por pulgada.....	85.00	85.00	85.00
Humedad, por ciento.....	0.40	0.81	0.59
Materias, volátiles, por ciento.....	24.72	36.27	24.36
Carbón fijo, por ciento.....	68.43	58.29	65.05
Cenizas por ciento.....	6.85	5.44	10.59
Azufre, por ciento.....	1.96	0.68	0.84
B. T. M. por libra.....	14.739	14.334	13.912
Millas recorridas, total.....	1.324	426	398
Carros por tren, término medio.....	61	65	60
Tonelaje rectificado por tren, término medio.....	1.719	1.808	1.759
Velocidad del tren, millas por hora, término medio.....	26	25	24
Presión durante la marcha, término medio (libras).....	198.3	193.5	194.9
Tiraje en caja de humo, durante la marcha, término medio en pulgadas de agua.....	7.15	7.79	6.69
Tiraje en el fogón durante la marcha, término medio en pulgadas de agua.....	3.50	3.22	3.18
Temperatura del vapor, F.....	562°	573°	555°
Carbón consumido por hora durante la marcha lbs., término medio.....	3.275	3.063	3.457
Millas—ton. rectificadas por lb. de carbón término medio.....	12.84	13.97	11.59

La locomotora se trabajó a su máxima capacidad en los tres ensayos, arrastrando en tonelaje más o menos un 10 por ciento mayor que lo corriente para una máquina semejante, quemando carbón ordinario y a velocidad más o menos veinticinco por ciento mayor que la máxima usada con alimentación a mano.

Los resultados generales fueron excelentes con respecto al tonelaje, velocidad, combustión y presión de vapor, ésta siendo mantenida a toda velocidad y con el inyector introducido la cantidad máxima de agua.

Con el carbón más sulfuroso (ensayo N.º 1) y con el más ceniciento (ensayo N.º 3) quedó menos de un pie cúbico de escorias al final de cada recorrido y ninguna cantidad apreciable de ceniz u hollín en las planchas tubulares.

RESULTADO OBTENIDO EN VARIOS FF. CC. DE NORTE AMERICA

Como resultado de las averiguaciones practicadas en varias líneas de los Estados Unidos por la Dirección General de los Ferrocarriles del Gobierno Americano a pedido de la Embajada de Chile, se han obtenido en resumen los datos siguientes:

Cinco Compañías de Ferrocarriles han hecho prolongados ensayos que en algunos casos han durado más de dos años, en siete locomotoras, habiéndose obtenido en algunos casos una economía de diez y ocho por ciento y en otros hasta de veintitrés por ciento, en comparación con locomotoras que empleaban carbón en trozos.

Al principio se produjeron dificultades en el arco de ladrillos, las que han sido subsanadas, posteriormente en su mayor parte, debido a modificaciones en los aparatos. Ha habido dificultades en la formación de escorias en los tubos, después de un trabajo prolongado de la locomotora. Esto es atribuído a que se han empleado carbones con alto porcentaje de cenizas y azufre. Estos elementos en caso de haber algún escape de vapor por algún tubo o estaye se enfrían y se depositan en la boca de los tubos. Se estima que estos inconvenientes pueden ser subsanados usando un buen carbón corriente con no más de un diez por ciento de cenizas y dos por ciento de azufre. Contribuye mucho al éxito en este punto el usar un sistema con pequeña velocidad de entrada del carbón al fogón. En efecto, en las dos últimas locomotoras equipadas con el sistema «Fuller» parece que estas dificultades han sido subsanadas.

También se notaron picaduras en la plancha tubular cuando se empleó carbón con azufre de tres a cuatro por ciento en forma de piritas. Esta dificultad desapareció al usar carbón de Kentucky con contenido de uno por ciento de azufre.

No se han observado deterioros especiales en el fogón, excepto en algunos casos en el arco de ladrillo, como ya se ha observado más arriba.

RESULTADOS OBTENIDOS EN EL BRASIL

Según informes oficiales recibidos por intermedio de la Legación de Chile en ese país, se han obtenido los siguientes datos enviados por los Ferrocarriles del Estado del Brasil:

Los combustibles empleados en las locomotoras a carbón pulverizado varían en la forma siguiente:

— Agua higrométrica, por ciento	0.3	a	27.5
— Materias volátiles, por ciento	19.7	a	38.0
— Carbono fijo, por ciento	21.5	a	73.9
— Cenizas, por ciento	6.1	a	26.7
— Poder calorífico (calorías)	2.857.0	a	8.098.0
— Agua vaporizada, por Kg. de carbón Kgs.	6	8	8.17

Las doce locomotoras en que se han instalado los aparatos para este combustible han funcionado bien y con regularidad. No ha habido combustión espontánea en los depósitos ni ténders.

En un caso cuando se empleó carbón húmedo se formó escoria y hubo gasto excesivo de combustible. Usando el carbón con menos de uno por ciento de humedad, no se ha producido ese inconveniente.

Los aparatos mecánicos así como las turbinas a vapor y los alimentadores han trabajado sin inconveniente.

Las ventajas especiales que habría para nuestros ferrocarriles en el empleo del carbón pulverizado, fuera de las ya mencionadas al tratar de la aplicación de este sistema a las locomotoras, pueden resumirse como sigue:

1.º—El elevado precio que ha alcanzado entre nosotros el carbón hace que cualquier economía que se obtenga de este material, debido a su combustión más completa, represente una ventaja apreciable.

2.º—Se podría emplear todo el material molido (que llega en algunos casos hasta 40 por ciento) de los carbones nacionales, que ahora se aprovechan con dificultad, o no se aprovechan, contribuyendo por este medio a bajar el precio general del carbón.

3.º—Debido a su más perfecta combustión son utilizables los carbones de inferior calidad, los cuales con el sistema que se emplea corrientemente, no podrían mantener la presión necesaria en los calderos. Esto permitiría entrar al mercado numerosas minas hoy día casi sin explotar.

4.º—Se evitan los robos tan frecuente, en carbón arrojado de los tónders a la línea, durante el recorrido de los trenes.

F.— CONCLUSIONES

El uso del carbón pulverizado en gran escala puede traer un gran progreso económico e industrial para Chile. El puede sustituir con grandes ventajas al petróleo en la zona salitrera para producir el agua caliente necesaria para la elaboración del salitre. Este mercado, que es muy importante, está hoy día totalmente tomado por el petróleo extranjero.

Su uso en las fundiciones del cobre ya está iniciado con todo éxito en los establecimientos de Gatico, de Catemu y de Naltagua. Al extenderse más permitirá establecer numerosas fundiciones que permitan explotar económicamente tantas pequeñas minas que están hoy día enteramente subordinadas a los precios que pagan las pocas compañías fundidoras existentes, la mayor parte extranjeras.

Su empleo en los ferrocarriles, hornos de forja y hornos open-hearth para la fabricación del acero, facilitará y resolverá la cuestión del combustible que hoy día dificulta tanto estas industrias.

Por fin el empleo en las fábricas de cemento, ya en uso en Chile en la Fábrica del Melón, permitirá el ensanchamiento de esta industria hasta tomar todo el mercado del cemento de Chile y de los países vecinos.

Hoy día se importa todavía una gran proporción del cemento necesario para este país y la totalidad del que se emplea en los países Sur Americanos. Tenemos en Chile abundancia de calizas, arcillas y otros materiales necesarios para la fabricación del cemento, de modo que con el uso del carbón pulverizado la resolución de este asunto es sólo cuestión de capitales y de conocimiento de la materia.

El costo de la primera instalación para la producción de carbón pulverizado, es algo elevado. Una planta completa para producir unas setenta toneladas de carbón pulverizado vale, instalada en Chile, alrededor de doscientos mil pesos (\$ 200 000).

Sin embargo, una instalación de esta especie, tomando en cuenta el precio del carbón hoy día, se pagaría antes de dos años.

Se ve, pues, la gran ventaja de su instalación en cualesquiera de los ramos industriales citados anteriormente.

OBSERVACIONES

El trabajo sobre el empleo del carbón pulverizado, ejecutado por el señor Rodolfo Jaramillo con datos tomados en varias de las localidades que pudo visitar en los Estados Unidos, es muy completo y muy oportuno.

Después de leer la numerosas aplicaciones que este nuevo sistema ha tenido, con una economía que ordinariamente varía entre 20 a 30% del carbón quemado, no queda lugar a dudas de que su difusión aquí en Chile debe ser no solamente recomendada sino que debe formarse con la mayor energía.

De esta manera se evitaría el encarecimiento exagerado del carbón que necesitamos de nuestras minas, lograríamos disminuir los gastos de transportes por ferrocarril y por mar para el combustible que está destinado a nuestras fábricas del centro o de la región salitrera, y, por último, se evitaría hasta cierto punto la restricción que hoy se nota en muchas industrias por la falta de una producción suficiente.

Mientras el precio del carbón se mantuvo al nivel que tenía antes de la guerra, siempre la cuestión de disminuir su consumo no revistió el alto interés económico y social que hoy tiene. De ahí que este sistema de la pulverización preliminar del carbón no se ensanchara en la forma que la ha hecho desde los primeros años de la guerra.

Por otra parte, la importancia que tiene el hecho de poder usar cualquier clase de carbones y sacar partido de los malos carbones, coloca a este procedimiento entre los inventos más notables de los últimos tiempos.

Ojalá que la Empresa de los Ferrocarriles del Estado hiciera algunos ensayos siguiendo el ejemplo del Brasil, con el objeto de obtener una economía de dinero usando los carbones menos valiosos para la industria o la navegación.

Las aplicaciones del carbón pulverizado en la metalurgia del cobre en los hornos de los establecimientos de Catemu y de Naltagua han dado los mejores resultados, y en la actualidad se ha instalado otro horno de este tipo en la fundición de Gatico.

Iniciadas de este modo las aplicaciones en Chile de este nuevo sistema creo que los profesionales deben esforzarse por abrirla el mayor campo posible, con la seguridad de que usando en conformidad a las reglas que tan claramente expone el señor Jaramillo en su disertación, se llegará a los mismos resultados satisfactorios que en los Estados Unidos.

JAVIER GANDARILLAS MATTA.
