

# Combustibles usados en las industrias y especialmente en locomotoras

POR

RODOLFO JARAMILLO B.

---

## TABLA DE MATERIAS

- I.—Carbón en trozos, quemado a mano.
  - II —Carbón quemado por cargadores mecánicos.
  - II.—Leña.
  - IV.—Petróleo.
  - V.—Carbón pulverizado, su preparación, almacenamiento y combustión.
  - VI.—Descripción de una planta de preparación y manera de introducirlo a un horno.
- 

- A.—Ventajas técnicas y económicas en el uso del carbón pulverizado como combustible, sobre el uso del carbón en trozos.
- B.—Historia del uso del carbón pulverizado.
- C.—Su uso en las diversas industrias.
  - 1.—Cemento.
  - 2.—Hornos de forja.
  - 3.—Calderos fijos.
  - 4.—Hornos de fundición de cobre
  - 5.—Hornos Open Hearth (Siemens-Martín) para fundición de acero.
  - 6.—Calderas de buques.
- D.—Sistemas empleados en locomotoras
- E.—Ensayos en Norte América y Brasil. Ventajas que habría para nuestros ferrocarriles en el empleo del carbón pulverizado
- F.—Conclusiones.

## (I).—CARBON EN TROZOS, QUEMADO A MANO

El sistema más sencillo conocido hasta la fecha y también el más antiguo, para quemar combustibles, consiste en el empleo del carbón de piedra arrojado sobre las parrillas de un hogar por medio de la pala del fogonero.

Este sistema, a medida que el precio del carbón ha ido aumentando y que las locomotoras y calderas han sido construídas de mayor tamaño y potencia, se considera deficiente por las siguientes razones:

1.º— El uso del carbón sobre parrillas exige cierta dimensión mínima de éste, a fin de que no caiga por entre ellas al cenicero o no sea arrastrado sin quemar por el tiraje a través de los tubos de los calderos. Esta exigencia ha obligado a las minas a harnear sus carbones, lo cual hace perder un porcentaje elevado que queda sin aplicación. En el caso de carbones blandos, este porcentaje puede ser muy subido, como, por ejemplo: en los carbones chilenos, en los cuales llega a perderse hasta un 40% del carbón que se extrae de las minas. Esta causa encarece fuertemente el precio del combustible, ya que el costo de extracción se aplica a todo el carbón que sale de las minas.

2.º— Mientras mayor sea la dimensión de los trozos de carbón que se arrojen al hogar más incompleta será la combustión, por cuanto el oxígeno del aire tendrá mayor dificultad en combinarse con los elementos del carbón. Asimismo, cuando un carbón deja al quemarse escoria aglutinante esta produce serias dificultades en la combustión al obstruir las parrillas.

## (II).—CARBON QUEMADO POR CARGADORES MECANICOS

Las enormes calderas fijas instaladas en Estados Unidos en las industrias, y las no menos grandes de locomotoras Mallet, han exigido el empleo de cargadores mecánicos, pues no alcanzarían a ser alimentadas por dos fogoneros trabajando a la vez. Estos cargadores generalmente están dispuestos en forma de parrillas sobre una correa sin fin, que va desde el ténder hasta el fogón y que es movida por un motor propio, o bien tienen émbolos que en cada golpe arrojan el carbón al hogar. A pesar de estar en uso en muchas grandes locomotoras, su empleo es más fácil en instalaciones fijas, pues en las primeras trae complicaciones que dificultan su buena conservación. Estos aparatos facilitan el empleo de carbón de pequeñas dimensiones, y la alimentación pareja y continua de los calderos, pero su empleo significa más bien una necesidad impuesta por las grandes calderas que un progreso técnico en la combustión del carbón.

## (III).—USO DE LA LEÑA

Más primitivo aún, pero menos sencillo que el uso del carbón en trozos, quemado a mano es el empleo de la leña en calderas fijas o locomotoras de cierto tamaño. A fin de que la leña dé buen resultado ésta debe ser elaborada previamente.

te. Debe ser trozada en dimensiones pequeñas, secada siempre que contenga una cantidad subida de agua, quemada en parrillas de grandes dimensiones y además las calderas o locomotoras que la usen deben estar provistas de aparatos mata chispas, que introducen perturbaciones en el tiraje. Por otra parte, una leña de primera clase no produce más de 3 000 calorías por kilo y un carbón de inferior calidad no menos de 6 000; de ahí que para producir cierta evaporización se necesita quemar en la misma unidad de tiempo doble cantidad de leña en peso, que lo que habría que quemar de carbón de calidad inferior.

Esto exigiría en calderos corrientes un trabajo del fogonero imposible de realizar. Por lo tanto, hay que sacrificar en ese caldero cierto porcentaje de producción de vapor, o, lo que viene a ser lo mismo, de la potencia para que fué calculado con desmedro, en el caso de locomotoras, del arrastre que debería producir.

---

#### (IV).—USO DEL PETRÓLEO

El uso del petróleo es muy conveniente para toda clase de calderos. Como se emplea por medio de quemadores y es inyectado por medio de vapor, simplifica enormemente el trabajo del fogonero, que queda reducido a abrir más o menos las llaves de admisión del petróleo o del vapor, para aumentar o disminuir la alimentación de combustible. Por otra parte, como el petróleo produce comunmente de 10 000 a 12 000 calorías por kilo, la provisión necesaria ocupa un volumen mucho menor, y en el caso de locomotoras existentes en que el ténder tiene ya una capacidad dada, se puede contar con una cantidad de combustible para un viaje 60% mayor que el que podría efectuar con carbón granado. Las ventajas de almacenamiento y provisión a las locomotoras o calderos y otros hogares, son también muy grandes, suprimiéndose todos los inconvenientes que tiene el carbón. Pero una de las mayores ventajas que tiene el petróleo es la de poder ser usado en calderos de cualquier tamaño, sin que la magnitud de estos dificulte su empleo. Las más grandes locomotoras y los más grandes calderos pueden usar el petróleo con la misma facilidad que las pequeñas, sin aumentar los gastos de manipulación.

Suprime, así mismo, las dificultades provenientes de la ceniza, escoria, tubos sucios, etc. Tiene sólo el inconveniente de que los carros para trasportarlo deben ser especiales, no sirviendo para otro uso, por lo que el viaje de vuelta es siempre de vacío. Sin embargo, la producción de petróleo en el mundo no alcanza para las necesidades de las industrias, muchas de las cuales lo necesitan de preferencia sobre los ferrocarriles y calderos fijos corrientes. De ahí que, debido a la demanda, el precio del petróleo haya subido en tal forma que, reduciendo a dinero todos los inconvenientes del carbón, la conveniencia del empleo de uno u otro, depende de la menor distancia, sea de los pozos de petróleo o de las minas de carbón. En Estados Unidos, por ejemplo, se usa el petróleo solamente en los ferrocarriles en la región del Oeste, y todos los ferrocarriles del Este usan carbón por estar más cercanos a las minas de este combustible. En Chile, mientras no se encuentren pozos de petróleo, no debe pensarse en su empleo. Por el contrario hay que buscar de todos modos el abaratamiento del carbón y mejorar la calidad de este combustible.

## (V).—CARBÓN PULVERIZADO: SU PREPARACION

El empleo del petróleo inyectado por medio de una corriente de vapor, a través de un quemador, sugirió la idea de reducir el carbón a polvo y de inyectarlo ya fuera por una corriente de aire o de vapor. Esto último no ha sido satisfactorio, como veremos más adelante, pero en cambio la inyección por medio de aire ha dado espléndidos resultados.

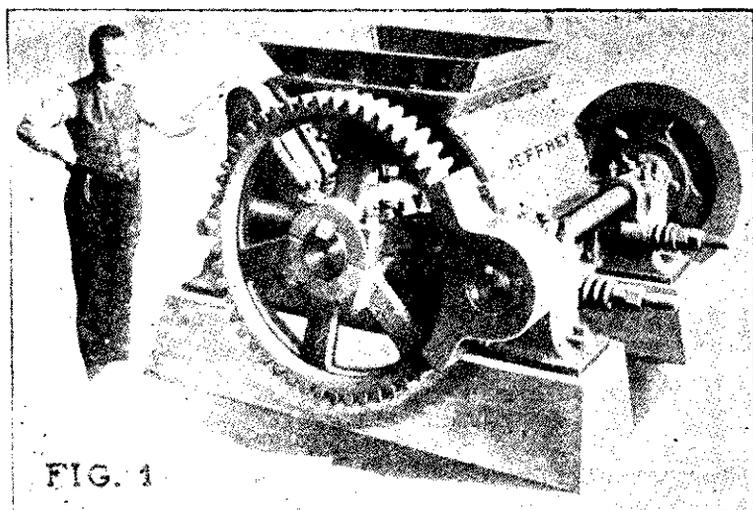
Hay numerosas patentes para quemar carbón pulverizado, pero sólo muy pocas han dado resultados satisfactorios en la práctica.

*Preparación del carbón pulverizado.*—El carbón debe ser sometido a un procedimiento de preparación antes de ser usado. Este puede resumirse de la manera siguiente:

1.º— Chancado del carbón, si está en trozos grandes, hasta dejarlo en trozos del tamaño de una nuez. Se usan con este objeto las chancadoras Jeffrey (fig. I) y las Fuller (Fig. II).

2.º— Separación magnética de los pedazos de fierro o acero que pueda contener el carbón, debido a su extracción en las minas, y que pudieran perturbar su pulverización. Un buen tipo de separador magnético es el «Ding» o «polea magnética».

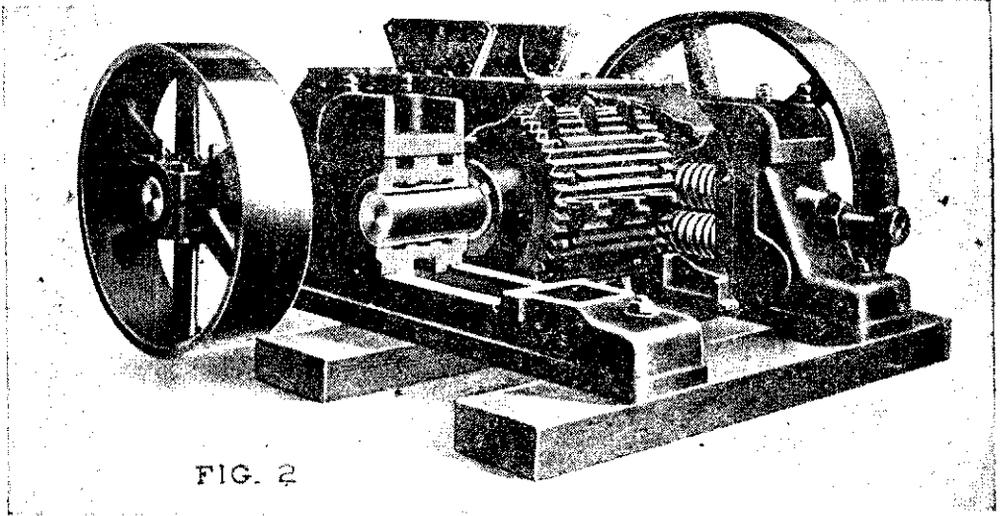
3.º— Secadura del carbón. Después de la separación magnética el carbón debe ser secado hasta tener menos de 1% de humedad.



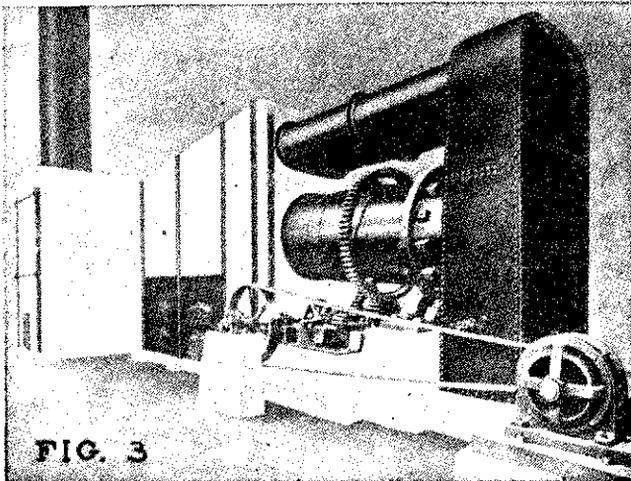
Sin esto, el carbón no puede ser completamente pulverizado y los harneros del pulverizador se tapan.

El carbón es sometido a la temperatura inicial de 100 centígrados, la cual se hace subir al fin del proceso hasta 120°. Los secadores más conocidos son los «Fuller Lehigh» (Fig. III), que consisten en un cilindro rotatorio de eje ligeramente inclinado, y cuya primera porción es calentada directamente en el fogón al cual atraviesa; los gases calientes del fogón pasan por un conducto superior, bajan por un

colector y entran por la derecha al cilindro, donde está el carbón; lo recorren en toda su longitud y van a salir junto con el vapor de agua que se desprende del carbón, por el extremo izquierdo, escapándose en seguida, por la chimenea que está al

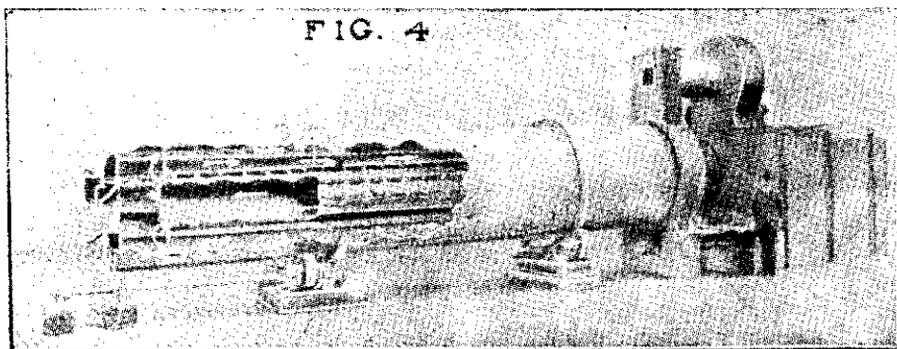


mismo lado. Tanto el hogar, como la base de la chimenea y el sostén del cilindro en que se seca el carbón, son de ladrillo refractario. El carbón, después de recorrer de izquierda a derecha el cilindro rotatorio, sale por la parte baja del colector de la derecha.



También se emplea el secador «Ruggles—Cole», el cual consiste en dos tubos concéntricos solidarios, que giran sobre rodillos.

El carbón entra al cilindro exterior por el extremo derecho de la figura, lo recorre en toda su extensión y sale por el extremo izquierdo. Los gases calientes se generan en un fogón situado al extremo derecho, entran al tubo interior que sirve de cámara de combustión y cuyas paredes transmiten el calor al carbón y en se-



guida salen por el extremo derecho, pasando por encima del carbón a todo lo largo del cilindro exterior, para escaparse por una chimenea junto con el vapor de agua del carbón.

#### (VI).—PULVERIZACION DEL CARBON

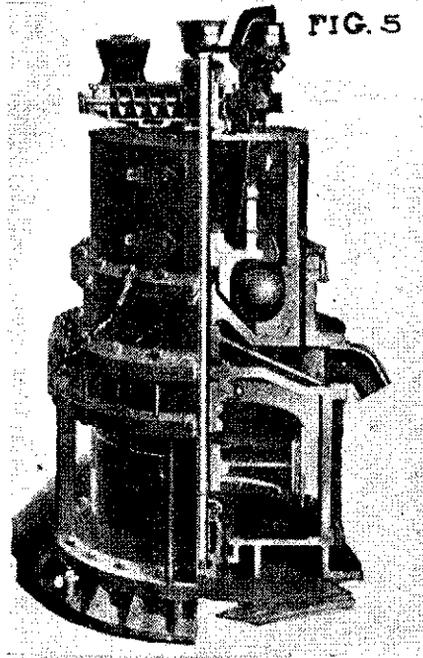
Como se verá más adelante, al tratar de las ventajas técnicas del uso del carbón pulverizado, mientras más fina sea la pulverización, mejores serán los resultados obtenidos en la combustión, y más fácil se hace su manejo, tanto en el fogón, como en los depósitos y aparatos de conducción.

Después de secado, el carbón pasa por intermedio de transportadores, ya sea de capachos o correas sin fin, al molino pulverizador. En los mejores molinos se obtiene una pulverización tal, que 90% del carbón pasa por mallas de agujeros cuadrados de 1'400 de pulgada (0 0000635 mt.) y un 95 a 97,5 de todo el carbón pasa por mallas de agujeros cuadrados cuyo lado es 1'200 de pulgada o sea, (0 000127 mt.). Todo el carbón debe pasar por mallas de agujeros de lado de 1'160 de pulgada o (0 000234 mts.). Los molinos pulverizadores pueden ser clasificados en los siguientes tipos:

- a — Molinos de bolas.
- b — Molinos de rodillos.
- c — Molinos de martillos.
- d — Molinos de brazos.
- e — Molinos cilindricos de guijarros.

a--*Molinos de bolas.*—Uno de los mejores tipos es el «Fuller Lehigh», que se ve en la figura V. Entra el carbón por un transportador de hélice que se ve en la parte superior de la figura. El carbón cae y es repartido por cuatro paletas inclinadas

que son solidarias del eje vertical, que es central y giratorio. Estas paletas arrojan el carbón por moler a un anillo fijo y cóncavo, sobre el cual giran cuatro bolas libres, de fundición dura o acero endurecido. Estas bolas reciben su movimiento giratorio del eje central por intermedio de cuatro brazos cóncavos solidarios de éste. Estos molinos tienen dos ventiladores aspirantes, uno encima del anillo de pulverización, que aspira el carbón ya molido hasta la cámara superior, que es circundada por una rejilla muy fina. El otro ventilador al aspirar produce una corriente de aire que hace pasar el carbón debidamente pulverizado a través de esa rejilla y lo descarga a un depósito que debe colocarse en el mismo edificio de preparación del carbón. La corriente de aire que producen ambos ventiladores pasa a través de la rejilla manteniéndola sin taparse. El hecho de que todo el carbón pulverizado debe pasar a través de la rejilla, asegura que su pulverización sea perfecta.



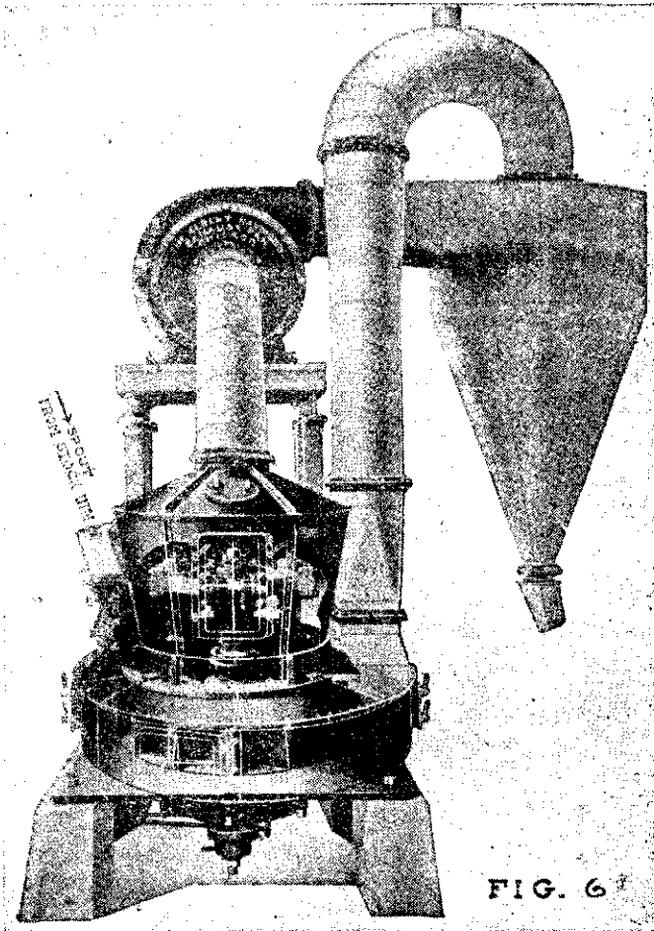
b—*Molinos de rodillos.*— En estos molinos, el aparato pulverizador consiste en un anillo de eje vertical contra el cual ruedan una serie de cilindros de fundición endurecida. Los rodillos están sólo guiados por brazos horizontales que giran solidarios del eje central vertical. Los rodillos por la fuerza centrífuga ruedan sobre el anillo de rodadura. El carbón cae entre ellos y el anillo, y es molido por los rodillos.

Esto se puede ver más claramente en la figura VI. que representa el molino de rodillos «Raymond».

Un ventilador produce una corriente de aire ascendente, la que aspira el carbón debidamente pulverizado y lo deposita en la tolva que está sobre el molino. El carbón granado que se va alimentando al molino y el que no está suficientemente

molido, es arrojado entre las superficies pulverizadoras, por unas paletas de forma de arado, que giran solidarias del eje vertical.

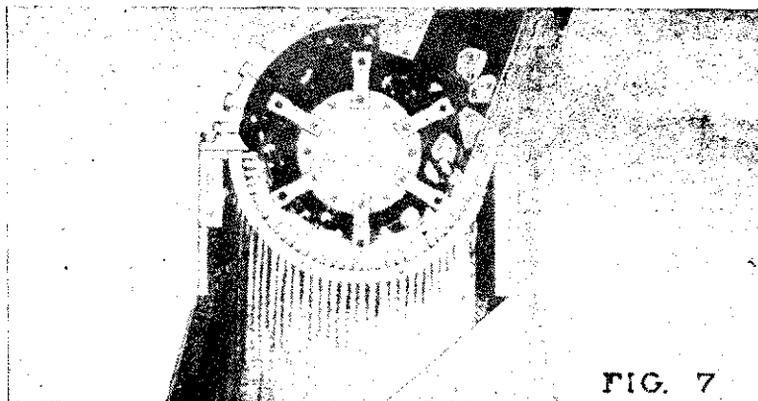
Un tipo semejante de pulverizador es el «Bonnot». La diferencia entre éste y el anterior consiste en que los rodillos giran alrededor de un eje horizontal y que el



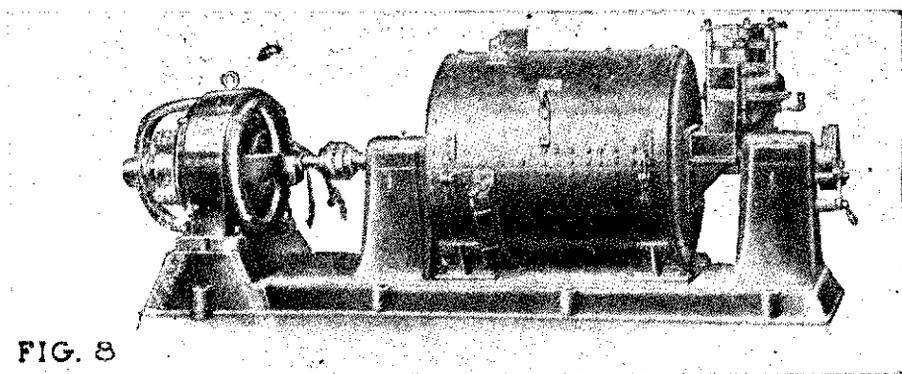
aparato está provisto de un ventilador de velocidad variable, a fin de graduar la fineza del carbón que se aspira. Esto permite obtener carbón de la fineza que se desec.

c—*Molinos de martillos*.—En la figura VII se puede ver el molino de martillos «Jeffrey». En él, el carbón entra por la parte superior y se golpea contra unos martillos solidarios de brazos, que giran alrededor de un eje horizontal. El golpe se produce en el aire y la fineza de la pulverización es proporcional a la intensidad de aquel. La parte inferior de la periferia de la caja del molino se compone de un barnero de barras, a través del cual atraviesa el carbón ya pulverizado.

d—*Molinos de brazos*.—La figura VIII representa un molino de brazos, compuesto de un tambor fijo, el interior del cual está dividido en tres cámaras comunicadas, dentro las cuales giran sobre un eje central, brazos con paletas. El largo de los bra-



zos aumenta progresivamente de una cámara a otra, de modo que el carbón al pasar de una a otra de ellas, va encontrando brazos más largos cada vez, y, por lo tanto de mayor velocidad periférica; este aumento de velocidad contribuye a la más completa pulverización del carbón. En una cuarta cámara hay un ventilador, cuya función es aspirar el carbón ya debidamente pulverizado en las cámaras anteriores, y conducirlo al fogón por medio de una cañería dentro de la cual obra un tiraje artificial.



e—*Molinos cilindricos de gujarros*—El más conocido de estos es el «Bonnot», el cual consiste en un cilindro de 4 a 5 pies de diámetro y de 15 a 25 de largo, que está medio lleno de gujarros de sílice y que por un movimiento rotatorio produce por choques la pulverización del carbón.

## ALMACENAMIENTO DEL CARBÓN PULVERIZADO

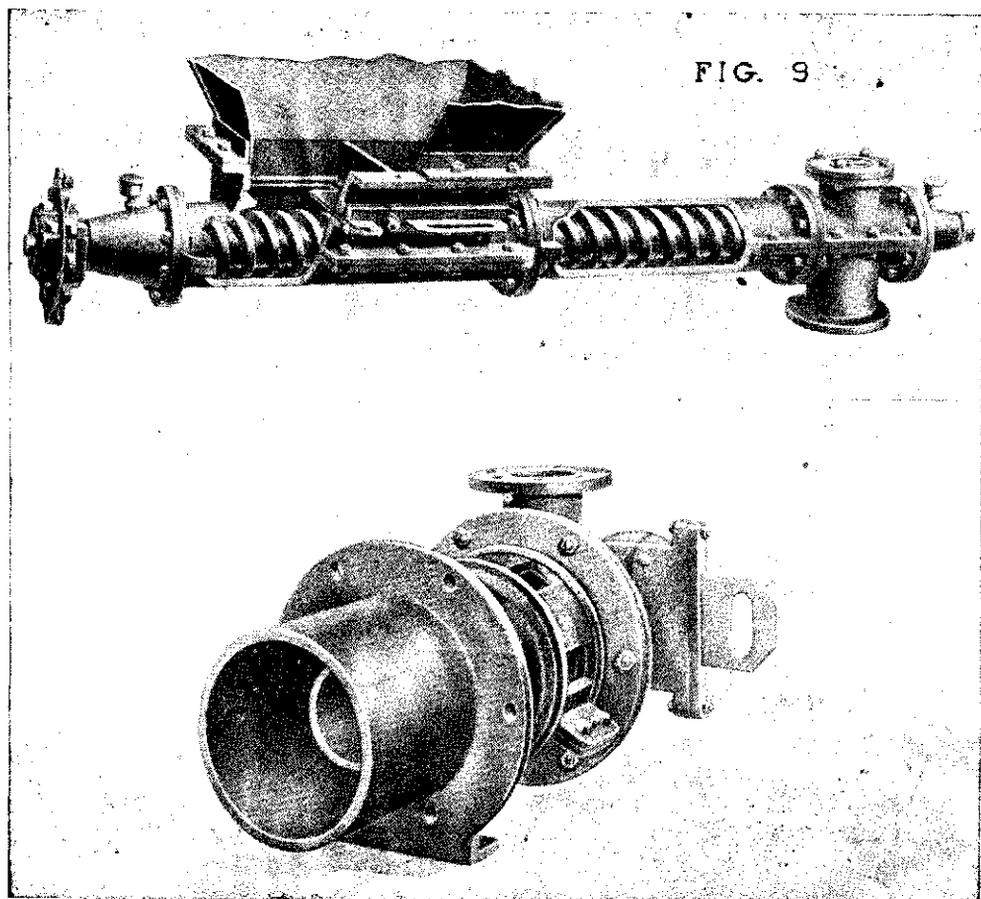
Después de la pulverización, el carbón pasa ya sea por medio de un transportador de hélice, o por una cañería con una corriente de aire que lo lleva en suspensión a los estanques de almacenamiento. Estos deben ser impermeables, de modo que el carbón no pueda escaparse por ninguna de sus juntas y que no éntre humedad a ellos, lo que haría que él se convirtiera en blocks. Además, el carbón debe recorrer cierto trayecto mínimo entre el molino que lo pulveriza y el estanque de almacenamiento, a fin de que llegue frío a este último.

Se recomienda que el carbón no esté almacenado por más de una semana después de pulverizado.

Tomadas las precauciones anteriores, no hay ningun peligro que se produzcan incendios o explosiones.

## COMBUSTION DEL CARBÓN PULVERIZADO

De los depósitos de almacenamiento, sale el carbón por medio de una cañería



que tiene en su interior un transportador helicoidal en movimiento, éste lo deja caer en una pequeña cámara, en la parte posterior de la cual hay un ventilador que produce una corriente de aire que se mezcla con el carbón en polvo y que lo transporta en suspensión a través del quemador propiamente dicho, hasta el fogón donde por a alta temperatura se produce su combustión inmediata.

En la figura IX se puede ver una ilustración del quemador completo y alimentador empleados en el sistema Fuller.

Se emplean también quemadores en que la conducción del carbón desde el estanque hasta la cámara de mezcla se hace únicamente por medio de una corriente de aire. Este sistema, apesar de ser más sencillo, no da buenos resultados en la práctica, porque el carbón tiene la tendencia a conglomerarse en el estanque y no cae uniformemente a la cañería de conducción, sino que a veces casi se para su alimentación y cae después de golpe en el fogón. Esto produce una combustión poco pareja y hasta peligrosa.

La alimentación del carbón puede ser variable, pues las hélices son movidas por un sistema de engranajes que permiten variar la velocidad de alimentación.

#### (VI).—DESCRIPCION DE UNA PLANTA DE PREPARACION DE CARBON PULVERIZADO Y MANERA DE INTRODUCIRLO A UN HORNO

El procedimiento empleado en la preparación del carbón pulverizado, así como su introducción dentro del horno, es como sigue:

El carbón es recibido en el pozo de un ascensor, dentro de cuyo pozo es descargado de los carros. El ascensor lo conduce a la tolva de un par de rodillos trituradores; (Figs. I y II), después de pasar por estos rodillos, el carbón puede ser pesado en romanas registradoras automáticas y se hace pasar, sobre un separador magnético. En seguida el carbón entra a un secador (Figs. III y IV), con el objeto de eliminar la humedad. Un buen secador de diseño apropiado extraerá 6 libras de humedad por libra de combustible empleado en el hogar del secador, y el producto saldrá, por lo general, con menos de uno por ciento de humedad. Desde el pozo, dentro del cual cae el carbón seco procedente del secador, aquél es transportado a depositos elevados, de los cuales pasa de una manera uniforme por medio de tubos y alimentadores a los molinos pulverizadores (Figs. V a IX). Estos molinos, si son de construcción apropiada, muelen el carbón rápidamente hasta el grado de finura necesario.

El carbón pulverizado es conducido al pozo de un ascensor, el cual lo eleva a un transportador que lo distribuye entre los depósitos de carbón, de los cuales cae por gravedad a cañerías que conducen a los quemadores.

Los depósitos para almacenar el carbón están proyectados para contener suficiente combustible para el consumo del horno durante el tiempo que los molinos estén sin funcionar; como, por ejemplo, el carbón puede ser molido y transportado para un servicio continuo de veinticuatro horas, haciendo funcionar los molinos durante diez horas solamente.

El carbón es alimentado desde el fondo del depósito por medio de un alimentador de hélice sin fin, movido por una transmisión de velocidad variable, de manera que el horno pueda recibir la cantidad de combustible necesario. El carbón cae li-

brememente, después que sale del alimentador, por una cañería cerrada, mezclándose con el aire al caer, y está así preparado para entrar a la cañería del quemador.

Esta última está dispuesta en tal forma que el aire que pasa por ella y que viene de un ventilador, no solamente arroja el combustible dentro del horno, sino también, al ejecutar esto, funciona como un inyector, aspirando consigo la columna descendente de aire que baja mezclada con carbón de los depósitos elevados. Por consiguiente, el combustible es completamente mezclado con la columna de aire resultante al entrar al horno. La velocidad y volumen necesario para el funcionamiento conveniente del horno, son determinados previamente, según el problema que se trata de resolver.

El aire se gradúa por la velocidad del ventilador o por compuertas, o por ambos, y el carbón por el número de revoluciones por minuto del tornillo del alimentador. El operario hace las maniobras necesarias según la cantidad e intensidad del fuego que se necesita, y por medio de inspecciones, de tiempo en tiempo, se asegura que se mantengan las condiciones requeridas. La construcción del horno no se cambia materialmente cuando el carbón pulverizado reemplaza al petróleo o al gas. El gasto en jornales es muy bajo, pues un solo operario puede atender varios hornos. Los hornos son de construcción y funcionamiento tan variados que no sería posible describirlos todos. Será suficiente dejar establecido que cualquier combustible sólido que puede ser secado y pulverizado producirá el máximo de su rendimiento en esta forma, y, por esta causa, combustibles que hasta ahora se consideraban como no aprovechables, tales como coque molido, polvo de lignita o antracita y turba, pueden ser aprovechados ahora como fuente barata de calor.

En la práctica actual del empleo del carbón pulverizado, la facilidad con que éste se quema ha sido hasta cierto punto un inconveniente más bien que una ventaja. La novedad del método es tan atrayente, que aquellos que experimentan con él, al principio se quedan satisfechos con producir un buen fuego por medio de un aparato sencillo que puede no tener los dispositivos de graduación que sean necesarios para obtener la mayor economía.

No constituye un éxito el emplear el doble de la cantidad de combustible que pueda necesitar un trabajo, así como no lo es tampoco elevar la temperatura de un fuego pequeño hasta una intensidad destructora, con el objeto de compensar defectos de construcción. El proporcionamiento apropiado de las dimensiones exige el conocimiento de las necesidades térmicas que hay que llenar. La cantidad de combustible necesario puede ser determinada, y calculados el volumen y velocidad de la provisión de aire. Esto envuelve necesariamente el conocimiento del volumen del horno, de manera que la combustión tenga tiempo para efectuarse. Las dimensiones apropiadas de los orificios para la evacuación de los gases, el tamaño de la chimenea y las velocidades de los gases, son todos datos que deben ser cuidadosamente determinados, tanto para el carbón pulverizado como para el gas o el petróleo. Un simple experimento cumpliendo con sólo un cierto número de condiciones, no debe ser considerado como concluyente.

Con un proporcionamiento adecuado del aparato, su funcionamiento debe tener suficiente elasticidad para poder adaptarse a una gran variedad de circunstancias, manteniendo siempre un casi constante porcentaje de rendimiento. Esto no se puede obtener en una instalación que no esté proporcionada para una alta eficiencia. La facilidad con la cual se quema el carbón pulverizado no es garantía que dicho combustible esté dando los mejores resultados obtenibles.

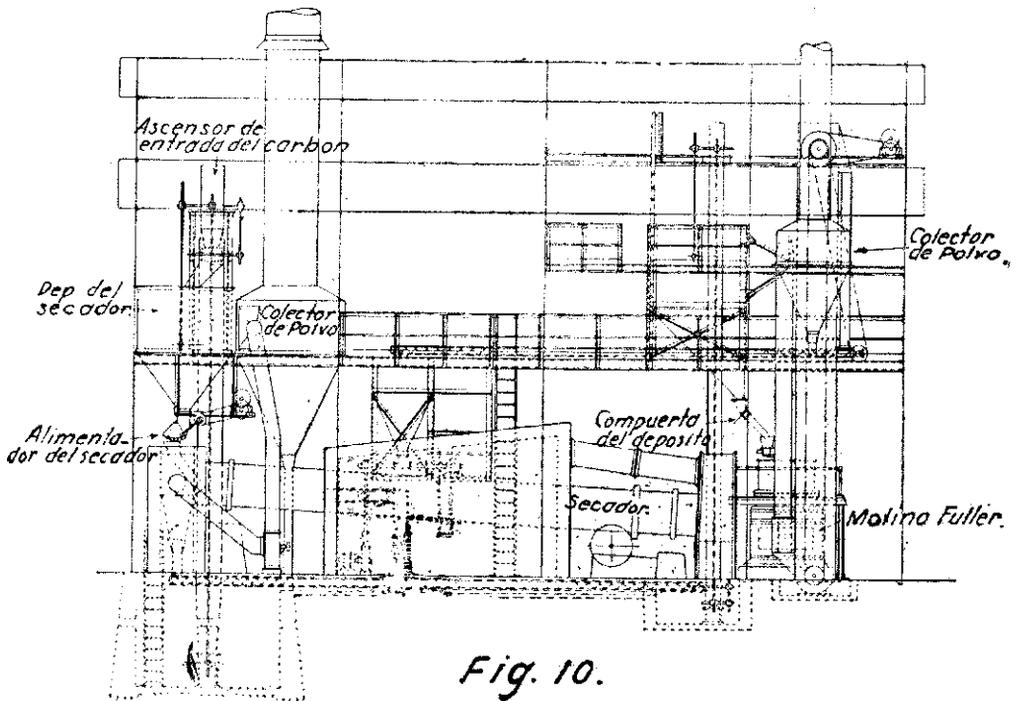


Fig. 10.

Esta descripción da una idea general del procedimiento seguido en la preparación y aplicación del carbón pulverizado, el cual es aplicable tanto a los hornos

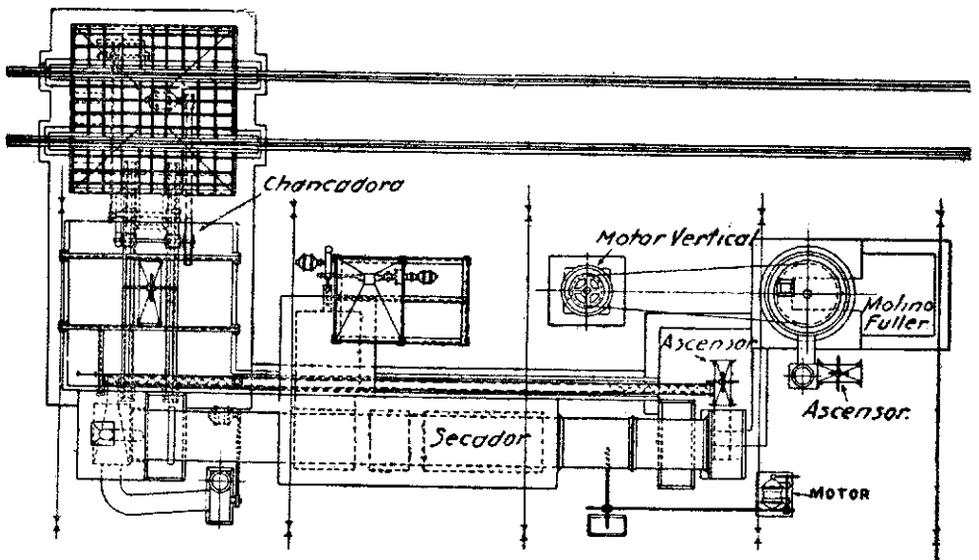


Fig. 11

fijos como a los hogares de locomotoras, naturalmente con las modificaciones necesarias en cada caso.

Ultimamente se ha ideado una modificación en la planta descrita. que consiste en reemplazar el ascensor y trasportador de hélice que llevan el carbón molido de los molinos pulverizadores a los depósitos elevados, por un sistema de bombas y cañerías, que ejecutan el mismo trabajo con un menor costo de instalación y de funcionamiento y que tiene, ad más de la ventaja de eliminar el polvo, la de ser de más fácil manejo. Con este último sistema se han instalado plantas que elevan el material hasta 20 metros de altura y lo conducen hasta una distancia de 380 metros.

En las figuras X y XI puede verse en vista y planta la distribución de una central para la preparación del carbón pulverizado.

(Continuará)

---