

Combustion de los Carbones Chilenos

POR

OTTO A. SCHMIDT

En consideracion al avance que van tomando los estudios carboníferos en el país i la conveniencia que hai en impulsarlos, hemos hecho, por orden de la Inspeccion Jeneral de Minas i Jeografia, un estudio respecto a la manera de sacar el mejor provecho posible de los carbones chilenos durante su combustion; nos referiremos tambien a algunos carbones extranjeros, deteniéndonos algo al tratar sobre las parrillas de los calderos, por ser en estas piezas primordiales de los fogones donde los carbones hacen su combustion. Antes de principiar, debemos establecer que si a nuestros carbones se les aprovechara en la debida forma, se podria obtener el maximun de calorías que desarrollar, en vista de que todo consiste en la forma i cómo se utiliza el combustible.

Según el combustible que se usa, debe ser la dimension de los fogones de los calderos, i la forma, disposiciones i dimensiones de las parrillas i por lo tanto de las chimeneas. Otro punto importante por considerar es la forma i mantenimiento de alimentacion del combustible en los fogones.

Parrillas.—Las parrillas son piezas que por el uso que se hace de ellas ocupan un lugar importante en el estudio que deseamos tratar, por cuanto depende en grán parte de ellas el mayor o menor consumo de combustible i al mismo tiempo, según estos combustibles es la forma, dimensiones i disposiciones que se debe dar a las parrillas.

Cuando los industriales desean adquirir calderos es poco o nada lo que se preocupan de la forma i dimensiones de las parrillas, cuando este punto es por demas interesante por el motivo que hemos espresado.

Las fábricas mismas, que se ocupan en la construccion de calderas, en el cálculo i modelacion de las parrillas, solo hacen diferencia en vista de dos consideraciones: si se quema leña o carbon. Cuando son para quemar carbon, aunque sean para países

sudamericanos, consideran que éste es carbon europeo i no se toman la molestia de calcular las parrillas segun los carbones en uso en el pais en que deben trabajar, es decir, segun la base del número de calorías que producen los carbones que se van a usar.

Para calderos en que el consumo de carbon es un factor importante i que estan espuestos a consumir carbones de diferentes calorías, deberia existir, por lo menos, dos juegos de parrillas, para carbones extranjeros de alto poder calorífico i para carbones nacionales; de este modo se podria apreciar enormemente las ventajas que se pueden obtener de los carbones nacionales aprovechando en lo posible todas las calorías que deben desarrollarse, se acostumbraría a los fogoneros al uso del combustible nacional i los industriales se penetrarían de las ventajas de consumir lo que el pais produce, sin necesidad de acudir a los combustibles extranjeros.

Podemos considerar que las calderas que se encuentran en la necesidad de tener por lo menos dos juegos de parrillas son: las calderas marinas, que indudablemente se verán algun dia en la imprescindible necesidad de usar carbones nacionales; las calderas de las locomotoras, que por ser del Estado estan, se puede decir, obligadas al consumo del combustible que produce el pais, ya que el Estado debe ser el primero en ayudar a las industrias nacionales, i las calderas de grandes industrias particulares, que están obligadas muchas veces a consumir el carbon del pais por cuanto no les es posible conseguir siempre los carbones extranjeros.

Las parrilla^s son hechas generalmente de fundicion; el fierro dulce no se adapta para este uso por cuanto una vez que se caldea se deforma con mas facilidad; ademas la fundicion permite dar a éstas formas variadas, i si las parrillas son chicas se pueden fundir de a dos i tres juntas sin que su peso sea excesivo.

No creemos necesario presentar un croquis de una parrilla, por cuanto la forma jeneral es conocida de todo industrial i profesional. Las parrillas descansan en sus dos extremos en dos fierros ángulos o dos fierros arcos soportes de fundicion, aperrnados a la pared del fogon. Las parrillas tienen jeneralmente la forma parabólica de igual resistencia, á veces son rectas cuando los fogones son grandes. Si las parrillas se componen de secciones, el soporte del medio conviene que sea mas alto que los extremos.

Toda parrilla en su seccion transversal deberá presentar la forma de un trapecio con la base menor hácia abajo, para que el carboncillo i escórias puedan caer al cenicero i dejar libre la entrada del aire. El vacio entre parrilla i parrilla, estando estas completamente juntas en sus salientes de los extremos i centros, debe depender de la clase de carbon por quemar, de su grueso i de la facilidad con que se cubren las parrillas con las materias betuminosas que contiene el carbon.

En los calderos de locomotoras, que usan tirajes forzados para la combustion, la parte vacia debe ser mayor que en los calderos sin tiraje forzado.

Las deformaciones de las parrillas son producidas por la dilatacion del material cuando se calienta, lo que ejerce presiones sobre las paredes del fogon cuando son demasiado ajustadas; para obviar estas deformaciones se hace un saliente en el centro de la parrilla igual a los extremos. Cuando éstas pasan de un metro de largo,

para que se ajusten una a otras, uno de los extremos de apoyo debe ser cortado oblicuamente, apoyándose sobre un plano tambien oblicuo; de este modo se da lugar al resbalamiento durante su dilatacion hacia los extremos. En fogones que pasan de un metro cincuenta de largo es conveniente dividir la parrilla en dos, tres i mas secciones, lo que ofrece la ventaja de cambiarlas mas fácilmente cuando se quiebran.

Para quemar algunos carbones hai necesidad de colocar las parrillas inclinadas hácia adelante i dar facilidad a la combustion, i a veces es conveniente, en fogones grandes, tener en la parte baja un juego de parrillas articuladas a un eje, para que en cualquier momento se pueda bajar la parrilla desde el exterior sin abrir la puerta del fogon i botar las escorias i cenizas, i aun fuego si fuere necesario.

El sistema de parrillas unidas de a dos, tres i cuatro, a pesar de facilitar su colocacion, es muchas veces un inconveniente, puesto que si se quiebra una, se inutilizan las vecinas del mismo grupo; sin embargo, en los fogones interiores circulares de los calderos cilíndricos verticales es completamente necesaria esta disposicion.

Para el consumo de los combustibles grasos i ricos en gases, como la hulla inglesa por ejemplo, o para los combustibles menudos, magros i las antracitas, quemados en capas mui delgadas, convienen las parrillas horizontales.

Para quemar carbones de clase i grueso medio i para las hullas grasas, quemadas en capas gruesas, dan excelente resultado las parrillas inclinadas. Así los carbones chilenos buenos i granados se aprovechan completamente sobre parrillas inclinadas de 25 por ciento mas o menos. Para los carbones chilenos de clase media convienen las parrillas horizontales, talvez mejor un poco inclinadas, 10° como máximum.

Superficie de la parrilla.—Al tratar sobre la superficie de parrilla se entiende el conjunto de los fierros sobre los cuales se quema el combustible. Esta superficie depende de la clase de combustible por quemar, de la cantidad de aire que es necesario para la combustion de éste i por lo tanto del espesor de la capa de combustible.

El cuadro que copiamos a continuacion del *Railway and Locomotive Engineering*, resultado de muchos esperimentos, nos indica los elementos que se necesitan para el cálculo de las parrillas segun la clase de combustible:

COMBUSTIBLE	Consumo por hora i por metro cuadrado	Espesor del combustible sobre la parrilla	Distancia entre la parrilla i la parte cilíndrica inferior del caldero
Hulla clase inferior.....	50 a 100 k.	0.15 a 0.19 m.	0.50 a 1 m.
Hulla fina.....	30 a 80 k.	0.15 a 0.18 m.	0.60 a 1 m.
Hulla lavada i seca.....	20 a 30 k.	0.18 a 0.20 m.	0.50 a 0.55 m.
Leña seca.....	200 a 300 k.	0.20 a 0.40 m.	0.60 a 0.80 m.
Coke granado.....	250 a 300 k.	0.20 a 0.30 m.	0.45 a 0.60 m.
Turba seca.....	200 a 300 k.	0.20 a 0.30 m.	0.50 a 0.55 m.

Al hacer los cálculos para calderos de maquinarias marinas ordinarias i locomóviles, se debe considerar un consumo de combustible que no baje de 60 i no suba de 100 kilogramos por hora i por metro cuadrado de parrilla. En calderos espuestos a tiraje forzado como las locomotoras, por ejemplo, este consumo sube a veces a 300 kilos por hora.

Lo que nos indica el cuadro bajo *espesor del combustible sobre la parrilla*, es considerando una combustion medianamente activa; si fuera esta lenta i se usaran combustibles magros, se tendria que reducir este espesor a la mitad; si se trata de combustiones mas activas i en un momento dado se quiere aumentar la produccion de vapor, no pudiendo dar a la parrilla la superficie necesaria, se duplica el espesor del combustible indicado en la tabla.

Esto es lo que jeneralmente se hace con calderos calculados para combustibles superiores i en los cuales se usa carbon nacional. Naturalmente esto ocasiona pérdida de combustible lo que redunda en descrédito de la produccion del pais.

Si se considera que el consumo en los locomóviles es de 50 a 100 kilogramos de carbon por hora i por metro cuadrado i para las locomotoras de 300 k., la superficie S de la parrilla está indicada por la fórmula.

$$S = \frac{P}{50 \text{ a } 100} \quad (\text{locomóviles}), \text{ i: } S = \frac{P}{300} \quad (\text{locomotoras})$$

En esta fórmula P es el peso del combustible que debe consumir el motor por hora, averiguado ya por el número de calorías que debe producir por hora i por caballo efectivo, segun el sistema de maquinaria por usar, la cual necesita cierto número de calorías para su trabajo; por lo tanto, el consumo X de carbon por hora i por caballo es igual al número de calorías Q que gasta una máquina, dividido por el número de calorías C que desarrolla el combustible que se usa, es decir

$$X = \frac{Q}{C}$$

Al fijar las dimensiones de las parrillas, especialmente en los locomóviles i calderos con hervidores, se debe tratar que el largo de la parrilla no pase de 1.40 m., i para otros calderos el máximo deberá ser 2.30 m., porque si pasa de estas dimensiones es difícil regular el fuego. Se ven casos en que estas dimensiones suben a 3.20 m. en las locomotoras americanas *Vauclain Tamden Compound*.

Aumento de la superficie de la parrilla.—Durante los esperimentos de consumo de carbon en las locomotoras Compound hechos por el *Durham College* en Newcastle on Tyne, se pudo comprobar la conveniencia de aumentar la superficie de las parrillas, pues antes del año 1890 no habian locomotoras que pasaran de 1.70 metros cuadrados en superficie de parrillas. Durante los esperimentos con hullas comunes, denominacion bajo la cual tambien podríamos considerar los carbones nacionales, la superficie de parrillas se aumentó por los buenos resultados prácticos a 2.40 m.² i en

ciertas locomotoras belgas se llegó a hacer calderos con superficie de 3.40 m.² lo que dió economías de un 10 a 14 por ciento en el consumo, quedando la producción de vapor la misma por metro cuadrado de parrilla.

Máquinas con una parrilla de 1.70 m.² pueden producir por hora 7,250 kg. de vapor, mientras que con 2.40 m.² pueden producir 11,500 kg., es decir, que por metro cuadrado de superficie las primeras producen 4,259 kg. i las segundas 4,791 kg. de vapor, siendo el consumo de combustible en las segundas inferior mas o menos en 12 por ciento por el mejor aprovechamiento de las calorías desarrolladas i por la completa combustión del carbon.

Para obtener el mejor aprovechamiento del combustible se usaron parrillas en forma de abanico que permitian la entrada de mayor cantidad de aire por la parte anterior del fogón; la parte vacía de la parrilla era casi doble en la parte de atrás del fogón que en la parte de adelante, en estas locomotoras.

Con parrillas mas grandes se comprende que el aire puede quemar completamente el combustible i por lo tanto con tiraje menor las calorías pasan mas fácilmente al agua.

Chimenea, superficie transversal, cenicero i caja de humo.—Siendo la superficie transversal de la chimenea un punto interesante en la combustión de los carbones, le dedicaremos un pequeño capítulo. Pues es sabido que debe haber cierta relación entre la superficie de la parrilla, la sección de la chimenea i la cantidad de aire necesario para la combustión.

En las máquinas fijas i con tiraje natural, la sección de la chimenea debe ser igual a la superficie vacía de la parrilla, pero generalmente la sección es menor cuando los gases llegan con temperatura de 300° a la chimenea.

En las calderas con tiraje forzado i artificial, la sección de la chimenea puede bajar a un sexto de la superficie vacía de la parrilla.

La forma mas común de la sección de la chimenea es la circular, por ser en todo caso la de mas fácil construcción i la que ofrece mayor superficie de sección con igual perímetro i mas facilidades para la limpieza.

En los buques i en las locomotoras, donde la chimenea está espuesta a la resistencia del aire, se les da algunas veces la forma elíptica, colocándola con su eje menor transversalmente. También se pueden colocar dos chimeneas, una tras de la otra.

El cenicero, como el nombre lo indica, sirve para recibir las cenizas i los detritus de la combustión. En algunos calderos es necesario que el cenicero tenga puertas por delante i por atrás para graduar el aire que debe entrar para la completa combustión, activando o disminuyendo el tiraje i por consiguiente la producción de vapor i gasto de combustible.

En las locomotoras Compound i calderos en que el escape se hace por la chimenea, con el objeto de regularizar el tiraje se ha determinado este último tiempo aumentar el largo de la caja de humo, lo que permite reducir la contra-presión en el cilindro, i disminuye el efecto de este escape en el tiraje en el fogón.

En los calderos tubulares, ya sea de locomotoras ya de calderos fijos, la sección libre del tubo desempeña un papel importante en la combustión de los carbones; por lo tanto, se encuentra en relación con la superficie vacía de las parrillas i de la chimenea, siendo la suma de las secciones de los tubos 1.7 a 2.3 veces la sección de la chimenea i entre $\frac{1}{100}$ i $\frac{1}{500}$ de la superficie total de calentamiento, dependiendo esta proporción de la combustión misma i del tiraje a que puede estar espuesto el caldero.

Los recalentadores de vapor que van colocados en la caja de humo se puede decir que no han dado resultado con carbones de clase media, por cuanto los gases están espuestos durante su trayecto en el caldero a pérdidas de temperatura apreciables i sólo alcanzan a transmitir las calorías al agua. Por lo tanto, no son recomendables con carbones de clase inferior, habiéndolo demostrado así innumerables experimentos.

Combustion de los carbones

Cantidad de aire necesario para la combustión.—Tratándose de la cantidad de aire que debe pasar por el vacío de la parrilla para la buena combustión de los carbones, debemos considerar que esta cantidad es variable i depende de la naturaleza del combustible i del espesor de la capa por quemar.

Partiendo de la base que, cuando la combustión del carbon es completa, un kilogramo de carbon se combina con 2,660 kilogramos de oxígeno, formándose, por lo tanto, 3,660 kilogramos de ácido carbónico con un desarrollo de calor que alcanza a veces a 8,080 calorías, si el aire no llega en suficiente cantidad al carbon, se le imposibilita para tomar esos 2,660 kilogramos de oxígeno

Si tomara solamente la mitad, formaría óxido de carbono con un desarrollo de sólo 4,473 calorías. Lo que nos demuestra una vez mas la necesidad de calcular perfectamente las parrillas i sus huecos, para poder obtener de cualquier combustible el número de calorías que desarrolla teóricamente o por lo ménos un número mui vecino a él.

Ahora, por lo que se refiere al grueso de la capa de combustible, ocurre continuamente que el ácido carbónico formado cerca de la parrilla i que se ve obligado a atravesar toda la capa gruesa de combustible, no llevá oxígeno suficiente para formar ácido carbónico en la parte superior formándose, sólo óxido de carbono, lo que produce una pérdida de calorías igual a: $8,080 - 4,473 = 3,607$ calorías.

Los carburos de hidrógeno que están en la hulla, si no se efectúa su completa combustión, producen tambien pérdida de calorías, por cuanto se destilan por el calor, i si no encuentran una cantidad de aire suficiente se van por la chimenea en forma de humo aparente, que no es otra cosa que carbono libre debido a la combustión incompleta de estos carburos de hidrógeno.

Se obvian estos inconvenientes haciendo llegar por la parte inferior de la parrilla el aire necesario para la combustión del carbono i por la puerta del fogn la cantidad

estrictamente necesaria para la combustion de los carburos de hidrójenu i tambien el aire que el combustible pueda necesitar, evitando de este modo la descomposicion del ácido carbónico al pasar a traves de la capa de carbon. Al dejar que entre aire por la puerta del fogon, debe considerarse que un exceso perjudicaria las planchas i juntas i aflojaria los tubos, i en lugar de activar la combustion produciria una pérdida de presion. Por esto en toda puerta de fogon hai siempre una roseta que permite guardar la cantidad de aire necesario.

Por el contrario, si la capa de combustible fuera delgada, se necesitaria ménos aire para el mismo peso de carbon.

Partiendo de la base que un kilógramo de carbon necesita para su combustion total 2,660 kilógramos de oxígeno, necesitará un volúmen de este gas de:

$$\frac{2,660}{1,293 \times 1,1056} = 1,861 \text{m}^3$$

pero como se combina con 21% de aire, estos 2,660 kilógramos de oxígeno corresponden a

$$\frac{186}{21} = 8,857 \text{ metros cúbicos de aire.}$$

Si el carbon contiene sólo 45, 50 o 70% de carbono, se necesitará el 45, 50 o 70% del cubo de aire indicado, pero sin contar la cantidad de oxígeno que se necesita para combinarlo con el hidrójenu contenido en los carbones, lo cual bajo ningun punto de vista puede despreciarse.

Ademas, para eliminar el vapor de agua que se desprende del carbon i los vapores formados por la combustion del hidrójenu, se debe contar con exceso de aire.

Ahora, si al carbon se le proporciona únicamente el aire necesario, 8,857 metros cúbicos por kilógramo de carbono puro, para su completa combustion, la temperatura de esta combustion seria algo elevada, puesto que alcanzaria alrededor de 2,000 grados, segun los carbones; temperatura que no resistirian las parrillas, ni las planchas tubulares, ni los mismos tubos.

Por esto, es necesario aumentar la cantidad de aire, mantener la combustion sin que pase la temperatura de 1,200 grados, distribuir los gases calientes sobre una superficie de calentamiento en la caldera i obtener que salgan por la chimenea con el minimum de temperatura necesario para el tiraje natural, 200 a 300 grados.

Por todos los motivos enumerados i considerando cualquier combustible, mui acertadamente los fabricantes de calderas hacen llegar a la parrilla una cantidad de aire doble de la necesaria, sin considerar la calidad de combustible por quemar en la parrilla, lo que en muchos casos ocasiona un regular porcentaje de pérdida de aprovechamiento del combustible para los carbones chilenos.

De algunos datos obtenidos por el ingeniero Peplet, que creemos interesantes, sacamos las temperaturas de combustion para algunos combustibles:

Turba seca con 50 por ciento de cenizas i 20 por ciento de agua, tiene su combustion completa a los.....	2,350	grados
Carbon de leña con 7 por ciento de agua i 7 por ciento de cenizas, a los	2,774	»
Leña seca, a los.....	2,436	»
Leña con 25 por ciento de agua, a los.....	2,230	»

El mismo injeniero Peelet ha podido deducir despues de una série de esperimantos, la proporcion de carbono e hidrójeno de varios combustibles usados, i segun esos datos ha calculado las cantidades de aire teóricas que se necesitan para su combustion completa en un fogon, segun los datos obtenidos por la composicion de dichos combustibles.

No hai duda que seria interesante este mismo estudio para los carbonos chilenos, avaluando la composicion de carbono e hidrójeno de cada uno de ellos i las cantidades de aire teóricas que se necesitan para una buena combustion.

COMBUSTIBLE	COMPOSICION		
	Carbono	Hidrójeno en exceso	Volúmen de aire por kilógramo teórico
Hulla ordinaria.....	0.80	0.05	9.050 m ³
Carbon de turba.....	0.75	...	6.600 »
Coke con 15% de cenizas.....	0.85	...	7.500 »
Turba con 20% de agua.....	0.464	0.016	4.510 »
Turba bien seca.....	0.68	0.02	5.640 »
Cáscara de taniro despues de curtir....	...	...	3.500 »
Carbon de leña.....	0.93	...	8.200 »
Leña ordinaria con 20% de agua.....	0.416	...	3.600 »
Leña bien seca.....	0.51	...	4.500 »

Para la velocidad del aire que debe pasar por los huecos de las parrillas se admite jeneralmente un metro por segundo, tomando en consideracion las obstrucciones por efectos de las escorias i carboncillos que jeneralmente se depositan en ellas.

Esto induce a determinar primero la superficie total de la parrilla i despues la superficie de vacíos entre las barras.

Cuando el caldero no es construido para la combustion normal de un combustible, por lo que hai que quemarlo en capa gruesa, se acostumbra aumentar artificialmente el tiraje, lo que obliga a aumentar por lo ménos en la mitad la cantidad de aire indicada en el cuadro anterior.

Cantidad de vapor que debe producir un metro cuadrado de superficie de calentamiento.—Como es sabido, un caldero se avalúa segun la cantidad de agua que pueda convertir en vapor en un tiempo dado, tomando en consideracion la presion de este vapor.

Usando un tiraje forzado, como en las locomotoras, i quemando en capa gruesa el combustible, se puede llegar a la proporcion $S=0.013 C$, entre la superficie de parrilla S i la de calentamiento C ; mientras mejor es el combustible, menor es la superficie de parrilla en relacion con los demas elementos de que se dispone; así, por ejemplo, cuando se trata de quemar leña, los constructores dan como proporcion entre la superficie de calentamiento i de parrilla: $S=0.029 C$, i para calderos tubulares 0.06 a 0.08 C .

En cálculos previos, los constructores admiten que, en trabajo ordinario del fogn, cada metro cuadrado de superficie de calentamiento puede recibir i trasmitir por hora de 8,000 a 12,000 calorías, lo que corresponde mas o menos a la combustion de 2 kilogramos del mejor carbon chileno i a la produccion de 12 a 18 kilogramos de vapor, o lo que es lo mismo, de 6 a 9 kilogramos de vapor por cada kilo de carbon nacional.

Ademas debemos considerar un coeficiente de rendimiento de 0.60 a 0.70, es decir, se considera que se aprovecha de 3,600 a 5,200 calorías por metro cuadrado de superficie de calentamiento, con 7 a 14 kilogramos de vapor.

Este coeficiente ha sido impuesto por la misma construccion defectuosa de los calderos, que no se adaptan al combustible que se quema en este país.

Por lo tanto, los datos espuestos nos permiten calcular las dimensiones de un caldero para un caso determinado, segun el combustible que se consuma.

La relacion entre la superficie de calentamiento i la superficie de la parrilla es dada por la fórmula siguiente de Dulong:

$$S = \frac{C P}{p q}$$

S la superficie de la parrilla.

C superficie total de calentamiento.

P peso del vapor, por hora i por metro cuadrado de superficie de calentamiento.

p peso de combustible, por hora i por metro cuadrado de superficie de parrilla.

q peso del vapor producido por un kilogramo de combustible.

Por lo jeneral, los calderos ordinarios producen 5 kilogramos de vapor por kilogramo de combustible de 7,500 calorías, pero los tubulares alcanzan a dar 8 kilogramos; por otra parte tenemos que el valor de P fluctúa entre 12 i 25 kilogramos en los calderos ordinarios i entre 50 i 60 en las locomotoras; i que p varía entre 70 i 125 kilogramos.

Reemplazando los números por sus respectivos valores tendremos la superficie de la parrilla.

Como se ve por la fórmula, la superficie de la parrilla está en relacion con la calidad del carbon por consumir, puesto que el peso de vapor producido por un kilogramo de combustible está en relacion con el número de calorías de ese combustible.

La superficie de parrilla de los calderos con hervidores que salen de las fábricas extranjeras se calcula bajo la base $S=0.06 C$, i para los tubulares bajo la base $S=0.03$ a $0.04 C$.

Pues bien, los experimentos del ingeniero Penclet ya nombrado, han probado que los calderos de locomotoras pueden producir, segun el tipo, de 100 a 130 kilogramos de vapor por hora i por metro cuadrado de superficie de calentamiento.

Pero es difícil conseguir esta cantidad con nuestros carbones chilenos, por no adaptarse los calderos a ellos; motivo por el cual en la práctica se cuenta sólo con 60 a 100 kilogramos en las locomotoras, i en las máquinas ordinarias no se sube de 12 a 25 kilogramos por hora y por metro cuadrado.

En los calderos de locomotoras se ha verificado que el poder de vaporizacion es tres veces mayor en el fogon que en los tubos, lo que induce a aumentar la superficie del fogon i disminuir el largo de los tubos hasta quedar entre las relaciones de $1/10$ i $1/20$, es decir, vecino a $1/15$.

Por lo espuesto anteriormente tenemos

$$C = \frac{P}{12}$$

en que C es la superficie total de calentamiento i P el peso de vapor necesario para la máquina.

Al hacer el cálculo es conveniente aumentar el peso de vapor P en $\frac{1}{3}$ a $\frac{1}{4}$ del necesario, para compensar las pérdidas de vapor que por uno u otro motivo se producen.

Relacion que debe existir entre la superficie de la parrilla i la de calentamiento.
—Como la superficie de la parrilla es funcion del combustible consumido por hora i este último está en relacion con la superficie de calentamiento, por la cantidad de vapor que se produce con dicha cantidad de carbon, esta relacion es fácil de calcular.

Como dato ilustrativo diremos que los constructores dan a la superficie de calentamiento de 35 a 40 veces la superficie de la parrilla, siempre que la presion de los calderos no suba de 6 kilogramos o 6 atmósferas, lo que puede verse en los calderos que se usan para la industria.

Con presiones mayores de 6 kilogramos baja esta relacion de 30 a 35, i en las locomotoras sube a 70 i 80, pero esta proporcion se hace con el tiraje artificial i hai que aumentar la superficie de huecos de la parrilla.

Copiamos el siguiente cuadro sacado de la obra *Les machines a vapeur*, de Haeder, sobre la superficie de calentamiento i de parrilla i la produccion de vapor para las hullas i lignitas segun el tipo de combustion.

COMBUSTIBLE	Tipo de combustion	KILÓGRAMOS POR HORA			Consumo de combustible por metro cuadrado de parrilla.	Relacion entre la superficie de calentamiento i de las parrillas.	Produccion de vapor por kilogramo de combustible.
		Por metro cuadrado de superficie de calentamiento		Consumo de combustible por metro cuadrado de parrilla.			
		Consumo de combustible	Produccion de vapor				
Hulla.....	Mui lenta	1.4	12	60	40	8.5	
Lignita.....	»	4	12	100	33	3	
Hulla.....	Lenta	1.7	14	70	35	8	
Lignita.....	»	4	14	150	25	3	
Hulla.....	Normal	2.4	17	90	30	7	
Lignita.....	»	6	17	200	20	2.6	
Hulla.....	Forzada	4.2	25	120	24	6	
Lignita.....	Mui forzada (locomotora moderna)	5 a 8	50	450	70	8 a 12	

Pero si la máquina tiene recalentador de vapor se debe aumentar en un 10% las cifras de las columnas 4 i 7.

De la misma obra copiamos el cuadro siguiente sobre la superficie del calentamiento en metros cuadrados por caballo indicado, es decir, medidos en el cilindro.

Si se quiere obtener los caballos efectivos, basta multiplicar las cantidades del cuadro por 0.75 en término medio.

PRESION DE VAPOR, p=		3 a 4	5 a 6	7 a 8	10	12	14
		at	at	at	at	at	at
Monocilíndricas.....	S. C.	2 a 1.5	1.7 a 1.3	1.5 a 1.1	.....	.....	.....
	C. C.	1.5 a 1	1.4 a 1	1.3 a 0.9	.....	.....	.....
Compound.....	S. C.	1.2 a 1	1 a 0.9	1 a 0.8	.....	.....	.....
	C. C.	1 a 0.8	0.8 a 0.7	0.9 a 0.7	0.7	.....	.....
Triple expansion.....	S. C.	.....	.....	.....	0.8	0.75	0.7
	C. C.	.....	.....	.....	0.7	0.65	0.6

S. C. significa sin condensacion i C. C. con condensacion.

Los dos cuadros anteriores resúmen todo lo dicho anteriormente, i de una manera jeneral, sobre la cantidad de combustible quemado, la superficie de la parrilla, la superficie de calentamiento i la produccion de vapor en las máquinas a vapor.

Trabajo producido por la combustion de un kilogramo de carbon.—Suponiendo que un kilogramo de combustible al quemarse desarrolla un poder calorífico total de 6,500 calorías, el trabajo teóricamente disponible seria 6,500 multiplicado por 425 kilogrametros. Pero se entiende por utilizacion del combustible la relacion entre la cantidad de calorías desarrolladas por el carbon empleado i la cantidad de calorías aprovechadas realmente por el vapor, ya que hai que considerar cierta pérdida en el calentamiento de las planchas del caldero i accesorios, i ademas los gases i humos tienen que salir indispensablemente calientes por la chimenea, para el tiraje natural que se necesita.

Para averiguar la pérdida de calorías de un combustible, se puede tomar la fórmula siguiente de Regnault:

$$Q = P (606.5 + 0.305 t - t')$$

En la que Q representa la cantidad de calorías que absorbe el agua en un caldero para pasar del estado de agua a 0° al estado de vapor a t° , P el peso del agua que se convierte en vapor, t la temperatura de este vapor o la de ebullicion del agua, segun la presion, t' la temperatura del agua cuando entra al caldero.

Si dividimos la ecuacion de Regnault por 6,500 obtendremos el valor de utilizacion del combustible en tanto por ciento.

Pero hai que tomar en cuenta que el vapor sale con agua al estado líquido: por lo tanto, hai tambien una pérdida que nunca es inferior a 10 por ciento en peso i algunas veces llega a 40 por ciento.

Con el objeto de facilitar el cálculo de la utilizacion del combustible, copiamos un cuadro de Ledieu que indica las calorías que puede producir la hulla quemándose completamente i el peso de vapor que ella produce a diversas temperaturas.

En este cuadro la temperatura de 15° corresponde a las máquinas sin condensacion i la de 40° a las con condensacion.

Presion absoluta en el caldero, atmósf.	Temperatura del caldero.	Calorías necesarias para formar un kilo de vapor seco.	Temperatura del agua de alimentacion.	Peso de vapor seco producido teóricamente por un kilo de hulla, con un poder calorífico de:		
				6,500 CALORÍAS	7,500 CALORÍAS	8,000 CALORÍAS
				Kgs.	Kgs.	Kgs.
2	120° {	628	15°	10.250	11.940	12.740
		603	40°	10.780	12.440	13.270
3	134° {	632	15°	10.280	11.870	12.660
		607	40°	10.710	12.350	13.180
5	152° {	638	15°	10.190	11.750	12.540
		613	40°	10.600	12.330	13.050
7	165° {	642	15°	10.120	11.680	12.460
		617	40°	10.530	12.150	12.960
9	175° {	647	15°	10.010	11.620	12.400
		622	40°	10.470	12.090	12.900

En el estado actual de las máquinas a vapor se puede producir en término medio 10 kilogramos de vapor a 9 atmósferas por kilogramo de carbon, lo que da una utilizacion de combustible de 0.86. En las máquinas marinas con condensador se puede llegar hasta 0.90. Siendo el poder calorífico de los combustibles tan variado, Regnault propone la fórmula siguiente para averiguar el trabajo producido por la combustion de un kilogramo de combustible de cierto número de calorías. Para aplicar la fórmula basta saber el número de calorías del combustible que hai que usar:

$$T = K \frac{N (1 + at.) \left(1 + \frac{P}{P'} - \frac{P''}{P'} \right) 10,334}{0.81 (606.5 + 0.30a t - t')}$$

En que:

T es el trabajo producido por la combustion de un kilogramo de combustible.

K un coeficiente de rendimiento orgánico que jeneralmente es alrededor de 0.80.

N el número de calorías del combustible que se usa.

p la presión en kilogramos por metro cuadrado durante el período de admisión de vapor á los cilindros.

p' la presión final que resulta de la expansión al final de la carrera del émbolo, dada por el diagrama.

p'' la contrapresión, que se supone constante i se aprecia también por el diagrama.

t la temperatura del vapor o la de ebullición del agua, según la presión.

t' la temperatura del agua cuando entra al caldero.

Al establecer la fórmula se ha supuesto que todas las calorías se aprovechan en producir vapor, pero como en el hecho no pasa así, los ingenieros al tomar en cuenta en la práctica la utilización del combustible i el rendimiento calorífico, afectan a la fórmula anterior con un coeficiente de 0.25. Es decir, consideran perdido un cuarto del número de calorías N que da el calorímetro; lo que creemos exagerado, puesto que si todos los elementos de la caldera están calculados en forma correcta, la pérdida sólo llega al rededor de 0.10. Naturalmente siempre que las parrillas i el caldero mismo se adapten al carbón por consumir.

Para los efectos de la fórmula anterior, copiamos las calorías de diferentes combustibles i agregamos los datos referentes al número de calorías de los diferentes carbones chilenos ensayados por el Laboratorio de la Inspección Jeneral de Minas i Jeografía, lo que facilitará el cálculo para los industriales que usen los carbones chilenos.

CALORIA DE DIFERENTES COMBUSTIBLES

Hulla de primera clase.....	8,000 calorías
Hulla media.....	7,500 »
Hulla ordinaria.....	6,500 »
Coke con 4% de cenizas.....	7,700 »
Coke con 15% de cenizas.....	6,800 »
Antracita.....	8,000 »
Leña seca dura.....	4,000 »
Leña con 20% de agua.....	3,000 »
Carbon de Lota comun.....	5,500 »
Carbon ordinario.....	4,500 »
Carbon de Lebu comun.....	4,250 »
Carbon de Australia.....	6,000 »
Briquetas, composición variable.....	5,000 »

Carbon Errázuriz, Boca Lebu, Huitrera.....	6,909 calorías
» » » » La Alta.....	7,436 »
» » » » La Chica.....	7,829 »

Compañía Lota i Coronel, Veta Gruesa, pique Grande Carlos.....	7,290
Compañía Lota i Coronel, Veta Gruesa, chiflon Carlos...	7,681
» » » Veta Gruesa, pique Alberto..	7,450
» » » Veta Chica, pique Grande Carlos.....	7,591
Compañía Lota i Coronel, Veta Chica, chiflon Carlos...	7,559
» » » Veta Chica, pique Alberto...	7,588
» » » Veta de Arriba, Pique Grande Carlos..	6,346
Compañía Lota i Coronel, Veta de Arriba, chiflon Carlos.....	7,7-6
Carbon de afloramiento existente en el Ferrocarril de Penco a Concepcion.....	6,252
Carbon de la Isla Quiriquina.....	5,681
Carbon de Llanquihue.....	5,430
Los Rios de Curanilahue, comunes de explotacion, Mina Chiflon.....	7,589
Los Rios de Curanilahue, comunes de explotacion Chiflon interior.....	6,465
Los Rios de Curanilahue, comunes de explotacion, Veta doble.....	6,718
Los Rios de Curanilahue, comunes de explotacion, Veta alta.....	7,332
Carbon de un afloramiento del manto Chiflon en el fundo Bellavista.....	7,692
Carbon de un afloramiento de Talcahuano.....	6,322
Carbon de un manto superior en la Mina Carmen, Talcahuano.....	5,641
Carbon de Mulpun, Valdivia ,Manto número 1.....	5,715
» » » » » 2.....	6,068
Carbon de un afloramiento de un manto, La Espolante, Arauco.....	7,518
Carbon del Chiflon don Juan, Mina el Rosal.....	6,351
Carbon de la Mattison; Arauco Manto, de Arriba.....	7,442
» » » » intermedio.....	7,253
Carbon de la Mina Melita, Cuyinco, Arauco	7,333
Compañía Carbonífera los Rios de Curanilahue, doble Chiflon.....	7,175
Compañía Carbonífera los Rios de Curanilahue, Alto Chiflon.....	7,446

Compañía Carbonífera de los Rios de Curanilahue, Do- ble Nivel.....	7,611	»
Compañía Carbonífera los Rios de Curanilahue, Alta, Nivel.....	7,370	»

Las calorías apuntadas anteriormente corresponden tambien a la combustion completa del kilogramo de combustible, i no se debe olvidar que siempre una pequeña cantidad de carbon pasa por los huecos de la parrilla i se pierde, puesto que no alcanza a quemarse. El estado físico del combustible i su desagregacion mas o ménos grande son factores de mucha influencia sobre su buena utilizacion i sobre la facilidad de combustion.

Hemos tenido ocasion de ver industriales que queman coke en sus calderos, el que difícilmente llena su cometido, puesto que necesita mucho tiraje i no da llama; ademias, las planchas del fogon resisten difícilmente al enorme calor que obra en puntos mui circunscritos lo que perjudica a los calderos en su duracion.

Al escojer un combustible, por regla jeneral hai que fijarse si éste obliga a limpiar o no el fogon mui a menudo, puesto que esto ocasiona pérdidas directas de presion.

Rendimiento industrial de los combustibles.—Se entiende por rendimiento industrial de los combustibles el mejor provecho que de ellos se puede obtener bajo el punto de vista de adaptacion de los elementos de una caldera a la clase de combustible que se emplea, lo que deberia ser la primera consideracion para los industriales, constructores e ingenieros mecánicos que se dedican al estudio de máquinas a vapor.

El primer factor por considerar cuando se trata del rendimiento industrial es lo relativo al precio del combustible por usar, su poder calorífico, i el gasto de éste por hora i por caballo. El rendimiento industrial nose puede valorizar si no se cuenta con el poder calorífico del combustible. Algunos industriales, cuando adquieren una caldera, sólo se dan cuenta del precio, del número de caballos i del número de kilogramos de carbon por hora i por caballo, sin tomar en consideracion para qué clase de carbon está construido el caldero i el número de calorías de este carbon. Sin embargo este dato es indispensable para el cálculo.

Así, por ejemplo, si un caldero está construido para el consumo de un kilogramo de carbon de 7,500 calorías, por hora i por caballo, i se quema en él carbon de 4,500 calorías, el consumo puede llegar a tres i cuatro kilogramos por hora i por caballo, lo que nos indica que el gasto en kilogramos no es proporcional al número de calorías; vice versa, si un caldero consume cuatro i mas kilogramos de carbon de 7,500 calorías por hora i por caballo i ha sido construido para un combustible de 5,000 calorías, consumirá 2 kilogramos de este último, lo que no es proporcional. Esto nos indica una vez mas que los elementos de un caldero dependen del combustible por quemar en él.

Conclusiones—Recorriendo los datos oficiales que copiamos de los análisis hechos por el Laboratorio de la Inspeccion de Minas i Jeografia, sobre las calorías Berthelot

de los carbones chilenos, i comparándolos con los carbones extranjeros, podemos ver que los primeros en mui poco se diferencian de los últimos, i si a esto agregamos su mejor aprovechamiento tratando de que los elementos de las calderas i las calderas mismas que se construyen para el país fueran calculadas para el uso del carbon nacional, estamos seguros que nuestros carbones no desmerecerian en nada de los carbones importados.

Muchos aducen diversas razones para oponerse al consumo del combustible nacional, sin calificar a fondo estas razones, i lo critican ateniéndose al perjuicio de los gases i humos oscuros o negros que se desprenden por las chimeneas. En nuestro criterio ese humo tan espeso i oscuro es sólo efecto de la mala combustion, i las indicaciones que hemos espuesto en este estudio van encaminadas al mejor aprovechamiento del combustible.

Si nuestros carbones se usaran en la forma conveniente i tuviéramos confianza en nuestra produccion nacional, sin preocuparnos de las críticas i tratando de despejar poco a poco esa atmósfera malsana de que se la ha rodeado, estamos seguros que induciríamos a los industriales i al mismo Gobierno al consumo de nuestra produccion i, por lo tanto, al desarrollo en mayor escala de su explotacion.

Creemos haber indicado someramente en este estudio la forma práctica i teórica del mejor aprovechamiento de nuestros combustibles i haber espuesto los motivos del poco uso, mal aprovechamiento i poca confianza en los combustibles chilenos, i al mismo tiempo las indicaciones para cortar de raiz estos malos aprovechamientos.

Santiago, 1911.