

## Tesis de Posgrado

# Contribución al estudio del Poder calorífico industrial : Rendimiento práctico y poder vaporizador

Landeira, Pedro

1919

Tesis presentada para obtener el grado de Doctor en Química de la Universidad de Buenos Aires

Este documento forma parte de la colección de tesis doctorales y de maestría de la Biblioteca Central Dr. Luis Federico Leloir, disponible en [digital.bl.fcen.uba.ar](http://digital.bl.fcen.uba.ar). Su utilización debe ser acompañada por la cita bibliográfica con reconocimiento de la fuente.

This document is part of the doctoral theses collection of the Central Library Dr. Luis Federico Leloir, available in [digital.bl.fcen.uba.ar](http://digital.bl.fcen.uba.ar). It should be used accompanied by the corresponding citation acknowledging the source.

**Cita tipo APA:**

Landeira, Pedro. (1919). Contribución al estudio del Poder calorífico industrial : Rendimiento práctico y poder vaporizador. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. [http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis\\_0125\\_Landeira.pdf](http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_0125_Landeira.pdf)

**Cita tipo Chicago:**

Landeira, Pedro. "Contribución al estudio del Poder calorífico industrial : Rendimiento práctico y poder vaporizador". Tesis de Doctor. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. 1919. [http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis\\_0125\\_Landeira.pdf](http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_0125_Landeira.pdf)

**EXACTAS** UBA

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales



**UBA**

Universidad de Buenos Aires

UNIVERSIDAD NACIONAL DE BUENOS AIRES  
Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.-

-0-

Contribución al estudio  
del

" PODER CALORÍFICO INDUSTRIAL "

---

( RENDIMIENTO PRÁCTICO Y PODER VAPO RIZADOR )

-0-

Tesis presentada para optar el diploma de doctor en química, por el  
ex-alumno egresado

125.  
PEDRO LANDEIRA.

(de la Oficina Química Municipal)

-----

-0-

La Facultad no se hace so-  
lidaria de las afirmaciones  
contenidas en las tesis.-

**Padrino de tesis**

**- Profesor Doctor M. LEGUIZAMÓN PONDAL -**  
-----

-----  
-0-

Señores Académicos,

Señores Profesores:-

Tengo el honor de presentar a vuestra alta e ilustrada consideración, esta modesta monografía, cuyo propósito primordial, a propio tiempo que rendir mi prueba final, es intentar demostrar:- que es necesaria la función que el químico puede desempeñar actualmente a las diversas industrias con generadores a vapor; y al mismo tiempo he podido realizar un ensayo "químico-industrial-aplicado", con diversos combustibles, en la forma que mejor supe y pude realizarlas, para los que solicito vuestra sana y bondadosa indulgencia.-

Me es muy grato consignar y agradecer efusivamente, todas las indicaciones recibidas para este trabajo, especialmente de las personas a quienes he molestado con mi frecuente solicitud.- En primer término al Profesor Doctor M. Leguizamón Peñal para su cooperación decidida y el acompañarme en este acto;- a los Doctores E.Herre-ro Ducloux, R. Gans, A. Bado, a los Ingenieros E.Hermitte, J.R.Casti-feiras, Conrado Mager, M. Orswedt, A. Klüchar, y a todos mis ex-profesores; para todos mi reconocimiento más íntimo, por sus múltiples atenciones para conmigo;- para todos y para cada uno este modesto testimonio, de profundo agradecimiento y gratitud.-

-----

## P R E F A C I O

-0-

"Los penachos de humo que salen de las altas chimeneas: llevan a la atmósfera, hasta la quinta parte del calor del combustible empleado".- (Rousset et Chaplet).-

En qué consiste el fenómeno de la combustión, cómo se produce ese calor, verdadera "materia prima", de casi todas las industrias? Por la combinación del carbono con el oxígeno del aire.- Es una "reacción" exotérmica, producción que matemáticamente en todos los casos: -por la unión de 12 partes de carbono y 32 partes de oxígeno bajo forma de  $CO_2$ , una cantidad fija de calor.-

Y si el fenómeno de la combustión es de orden puramente químico, será incumbencia del "químico industrial" determinar las condiciones en las cuales se efectúa.- Conociendo la cantidad total del calor latente de la hulla, por ejemplo, se debe estudiar la manera como ella se distribuye en los "escarbillos", en el humo, en el ambiente de la calefacción y en el vapor de la máquina.-

Como en todas las otras reacciones utilizadas industrialmente por las mismas razones, al mismo grado de necesidad, será indispensable en cada instalación de calefacción-industrial establecer un control-químico riguroso.-

-----

Fuera de algunas raras excepciones, casi no hay usina que no comprenda generadores a vapor u otros hogares industriales; por consiguiente, en cada una, el químico deberá ocuparse de la marcha de la combustión, asegurándose en lo posible el control regular.-

## PRINCIPIOS DE LA COMBUSTIÓN

### -Aspecto químico-industrial-

#### Condiciones químicas de la combustión

El calor, -es muy sabido, -es una forma "degradada" de la energía expresión que se verifica demasiado en la práctica y desde que el trozo de combustible mismo, lleva hasta el tubo de vapor el fluido-motor (calderas) podemos constatar que las causas de pérdida son legión.-

La combustión es una oxidación.- Luego es pues una combinación química, que presenta la particularidad de ser "siempre acompañada de un desprendimiento de calor".- Este desprendimiento puede ser lento y el calentamiento producido será insensible a nuestros sentidos, como la oxidación del Fe en el aire húmedo ("la herrumbre"), o al contrario ser muy rápida, el calor desprendido siendo suficiente en este caso para llevar el cuerpo a la incandescencia, el cual se quemará con llama;-es a este último fenómeno exclusivamente, que se le llama combustión.- En general la combustión tiene por consecuencia una modificación (reducción del número de moléculas.-

Para que haya combustión, dos condiciones son necesarias y suficientes: es menester poner en presencia, a una temperatura suficientemente elevada, los dos cuerpos, o sea el combustible y el comburente. Es claro: cuánto más íntima sea la unión de esos dos elementos, tanto mejor será la combustión.- Este sería el primer principio fundamental para las combustiones.-

De este principio podemos deducir:- que la combustión perfecta de los gases combustibles es más fácil de realizar en los combustibles líquidos, y que éstos a su vez, si se pulverizan, son superiores a los combustibles sólidos; entonces la condición racional para una combustión

//ideal de los sólidos, será que el combustible no esté ni en trozos demasiado gruesos, porqué pasaría entonces un gran exceso de aire que sería nocivo-como veremos después-, ni en trozos demasiado pequeños, porqué el aire entonces no pasaría o pasaría muy poco, atascando inevitablemente.-

### I) Aspecto químico.-

El calor desempeña en la naturaleza un rol considerable, pues es la fuente de la cual son extraídas casi todas las energías de que disponen los humanos.-

Emanada del Sol al estado radiante, es transformada por las plantas en energía química;- y reaparece al estado de "calor luminoso"; cuando se quema un vegetal, pues se reconstituyen los materiales inorgánicos cuya radiación solar había separado y organizado los elementos.-

Se manifiesta bajo forma de "movimiento", en los motores que utilizan esta combustión y en particular en todos los animales, que en cierto modo son también máquinas-térmicas;- dicha energía calorífica también puede ser convertida en "corriente eléctrica" pues la transformación es directa en las pilas termo-eléctricas.- Las pilas comunes y las máquinas dinamo-eléctricas dan una solución indirecta, pues el calor transformado en energía química o mecánica produce la corriente.-

También, inversamente, todo movimiento que se extingue por choque o frotamiento, produce calor, como la corriente eléctrica que se disipa sin efectuar trabajo.-

El calor desprendido es un fenómeno químico, pues no es otra cosa que la transformación de la energía química que desaparece en la reacción.- Y en general es muy sabido que todos los fenómenos de la naturaleza terminan en una forma directa o indirecta;- en una difusión de su

//energía al estado de calor, y al final, a la igualdad de temperatura.-

Sabemos también que el calor es la manifestación primera de la energía, además de ser su última metamorfosis.- Se ha preguntado: existe naturalmente la energía al estado de calor en los astros, o es una transformación de una clase de energía? .- Todo lleva a creer que ella proviene de un movimiento material destruido, y que la causa que los hace sensibles es precisamente este movimiento.- También el calor es la forma por la cual la energía cósmica llega hasta nosotros, es nuestra gran fuente de fuerza y que como se ha dicho: "el imperio del hombre sobre la materia data del día que se descubrió el fuego" y así se explica el culto consagrado por los primeros pueblos, a dos grandes manifestaciones del calor: el fuego y el sol.-

Para los antiguos fué uno de los cuatro elementos y a los grandes filósofos ha preocupado mucho su esencia; los alquimistas se perdían entre sus numerosas hipótesis que empleaban diariamente y que desconocían su origen.- Boyle, Bacon, Laplace, Berard, etc. le consagraron obras capitales.- Se puede decir también que el inmenso desarrollo de la industria moderna, es debido a la máquina "a fuego" y es del estudio del calor que ha nacido la noción de equivalencia de los agentes físicos, noción que fué introducida por Mayer.-

Pertenece el calor, en su vasta importancia, a la química, a la mecánica, a la física, etc. .-

Su vinculación con la química es muy sabida: pues en principio todo fenómeno químico es acompañado de un fenómeno calorífico, y ya sea el calor animal o el de los hogares industriales, provienen de una reacción química.- Además, la mayor parte de las reacciones químicas, son modificadas por la temperatura.-

// La combustión en su acepción más usual, designa la combinación de un cuerpo con el oxígeno del aire, combinación acompañada de un desprendimiento de calor a menudo luminoso.-

En un sentido más general podría ser: toda combinación (química) directa, que se efectúe con mucha energía para dar lugar a fenómenos análogos.- La combustión será interna, cuando tenga lugar entre los átomos (partículas) de una mezcla o de una combinación, y será externa cuando reclama el concurso del medio ambiente.-

Desde la más remota antigüedad ha llamado la atención de los humanos el fenómeno de la combustión, el calor y la luz que los acompañaban y que parecían tener su lugar en la llama misma y al propio tiempo la relación que existe entre estos fenómenos y la vida de los seres organizados. Dice Berthelot al respecto, transcribiendo a Esquilo (1):

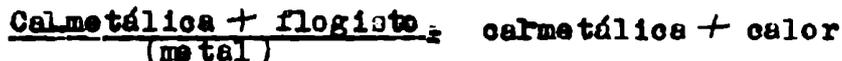
"El arte de producir el fuego es el primer grado de nuestra ciencia; el conocimiento del fuego, maestro de todas las artes, el mayor bien que existe para los vivientes, fué el primer paso en esta larga serie de invenciones que han domado la naturaleza y hecho pasar la especie humana del estado puramente animal, hasta el grado de civilización actual "llegado por los pueblos modernos"(2). Y si pasamos a las explicaciones de estos hechos prescindiendo del interés filosófico de tales investigaciones, constataremos que aun mismo del punto de vista práctico ellas son del más alto interés.-

Los antiquísimos y remotos hindúes habían ya clasificado el fuego en los cuatro elementos, entre los cuales se le colocaba en primer lugar

(1) Esquilo: "Prometeo encadenado".-

(2) Berthelot. "La Revolución química: Lavoisier".

//"era reputado entonces como el elemento activo de todas las cosas y el "vínculo entre los tres otros elementos: el agua, la tierra y el viento" dice Berthelot.- Es sabido que estas creencias verificadas y apoyadas sobre experiencias en apariencia concluyente, fueron al principio de los estudios químicos un verdadero cuerpo de doctrina.- Stahl (1706) dió cuenta del fenómeno de la combustión, viendo que el hierro calentado desprendía calor y se convertía en "cal-metálica" y afirmaba que este calor existía en el hierro al estado de un principio que llamaba "flogisto" y que comunicaba a la "cal" el brillo y las propiedades del metal:



que la "combustión" y la "calcinación" no eran sino poner en libertad "flogisto" y el flogisto libre era el fuego puro, o sea, en fin, el calor.- Según Stahl: "el fuego entonces era una clase (forma) de fluido, (el flogisto) era contenido en todos los combustibles y en todos los metales: cuando se calentaba un combustible el "flogisto" se desprendía dando calor y luz; cuando se calentaba un combustible con una "cal" (o sea un óxido), le cedía su flogisto y regeneraba el metal".-

Lavoisier "invirtió" la teoría stahliana en lo que concierne a las relaciones de la "calmetálica" y el metal.- Así en vez del metal encerrar el óxido, era el óxido el que encerraba al metal.- De tal modo que la relación anterior, desde el punto de vista químico, sería:



Pero es necesario para considerar todo el fenómeno, tener en cuenta el calor que se produce.-

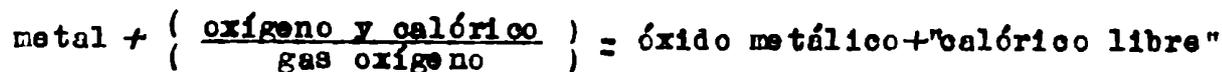
Sabemos que esta teoría fué sostenida y vigorizada cerca de un siglo, hasta que Lavoisier (1778) la destruyó totalmente, pues mostró:- que

//los cambios de peso, y las fijaciones o pérdidas de materias que acompañan la combustión, son inversas de lo que habían supuesto hasta entonces .- Cuando el carbón arde y parece desaparecer, en realidad su materia no se disipa;- ella no pierde su peso bajo forma de calor o de flogisto.- Es el carbón que se une con una substancia material, ignorada hasta las experiencias de Lavoisier:-" El oxígeno".- Y se forma así un compuesto nuevo, el anhídrido carbónico, en el cual todo el carbono elemental subsiste, y cuyo peso es igual a la suma de las cantidades de carbono y oxígeno que han servido para su formación.-

De suerte que, representando con símbolos químicos se puede esquematizar la reacción bajo la forma de igualdad:-  $C + 2 O = C O_2$ , -donde el carbono y el oxígeno forman el  $C O_2$ .-

Lavoisier fija, fundándose en experiencias memorables y de genial interpretación, fija entonces definitivamente, el rol jugado por el aire en la combustión;- se había constatado hasta entonces la necesidad de la aereación, sin poder explicarlo en forma precisa.- Además estableció que en los fenómenos de combustión, como en todas las acciones químicas "hay únicamente transformación sin que nada se pierda ni nada sea creado", como dijo textualmente Lavoisier en su principio químico memorable;- en todos los casos, se encuentra una vez la operación terminada, los mismos pesos de materias primitivamente puestos en contacto.-

Lavoisier lo atribuía al "calórico" que servía para constituir el oxígeno al estado de gas, que pierde "solidificándose" en el compuesto, y la ecuación sería:-



Actualmente se considera el metal y el oxígeno como dotados de

//una cierta cantidad de energía (latente o potencial) que ellos pierden en parte por su reunión al estado de calor, entonces la ecuación anterior sería:-

$$\left( \begin{array}{l} \text{Metal y} \\ \underline{m} \text{ energía} \end{array} \right) + \left( \begin{array}{l} \text{oxígeno} \\ \text{y } \underline{n} \text{ energía} \end{array} \right) = \left( \begin{array}{l} \text{óxido y} \\ \underline{p} \text{ energía} \end{array} \right) + \left( \begin{array}{l} \text{((m+n)-p, de ener-} \\ \text{gía exterior} \end{array} \right)$$

En resumen, como dice Mayer, el flogisto consideraba bien el conjunto del fenómeno, ellos tenían razón poniendo en primer término bajo el nombre de "flogisto" al equivalente del calor desprendido, y en esto estaban muy avanzados;- pero se equivocaban al decir:- "menos" flogisto, en lugar de "más" oxígeno.-

Lavoisier estableció sobre bases ciertas la igualdad química, pero cometió el error de atribuir al oxígeno solo, y a la "reducción de su volumen", el calor desprendido en la combustión.- Pues aunque esta sea una de las causas de ese calor, sabemos que en el caso de la oxidación de los metales, ella no puede actuar, por ejemplo, en combinaciones de gases sin condensación, y entonces aún el desprendimiento de calor es manifiesto.-

Berzelius hizo consistir la energía del metal y del oxígeno en electricidad, pero todavía no explica satisfactoriamente los hechos.-

Cualquiera que sea la causa de esa combinación, es decir, cualquiera que sea la idea que tengamos de la afinidad, no es menos cierto que la unión de los átomos, siendo acompañada de un desprendimiento de calor, o sea de una manifestación de energía, esta energía no ha sido creada.- Los átomos reuniéndose, han perdido una porción de su energía química, física o mecánica;- y es lógico buscar en esta energía perdida la causa de la que aparece bajo forma de calor, o bajo otra forma durante la combinación.-

// H. Deville escribía en 1860;- "que la afinidad, era la causa, el "calor desprendido era el efecto producido por esta fuerza y le era proporcional;- de donde se sigue que si se quiere tomar el efecto por la causa y la causa por el efecto, se llega a admitir que la afinidad, en "intensidad, no es otra cosa que la cantidad de calor latente o flogis- "to encerrado en el cuerpo, este "calor latente" tomado en el sentido de "la energía".-

Pero en la combustión (según Wurtz) la teoría actual comprende todas las reacciones posibles, ella no es sino la aplicación del principio de la conservación de la energía, o la energía química, y la ecuación general que la resume sería:-

- 1) Cuerpo actuante con m energía química, física o mecánica.-
- 2) = Productos de la reacción con m  $\pm$  energía química, física o mecánica.-
- 3)  $\mp$  n de energía exterior bajo una forma cualquiera.-

Se vé por esta ecuación que si se produce una misma reacción, una misma materia, dotada de una misma energía, que sería el término 2) constante, se puede, según los casos, recoger o suministrar una cantidad de energía exterior, de calor, por ejemplo muy diferente;- es suficiente para esto que el miembro 1) difiera.- Ejemplo:- Se hace quemar una substancia en el aire pero la substancia es sólida en un caso, líquida en otro, gaseoso en un tercero, gaseoso y animado de un movimiento rápido en un cuarto, en fin en un quinto, un proyectil es expulsado por la combustión.- El producto de la reacción es siempre el mismo, pero las cantidades de calor son diferentes.- Si se electriza el agua en un vaso enfriado, se constata una actividad química más o menos grande en el oxígeno formado;- y el electrólito ha absorbido más calor que cuando el oxígeno

//no no era activo.-

Tambien si se parte de un término 1), idéntico y se llega a un término 2) idéntico, ha sido producida o disipada una cantidad de energía independiente de las transformaciones intermediarias.- Esta consecuencia deducida de la manera de considerar los fenómenos, según la hipótesis de Mayer, para las cuestiones moleculares, sabemos que tiene muchas aplicaciones.-

Ella ha servido a Fabre y Silbermann y muy especialmente a Berthelot, para precisar las cantidades de calor que no sería posible determinar de otro modo.-

El principio del método es el siguiente:- el carbono se quema (o arde) en el oxígeno, hay un desprendimiento de calor luminoso que corresponde a la energía perdida.- Pero analizado el gas producido se vé que él se compone de  $C O_2$  y de  $C O$ ;- se determina entonces la cantidad de calor que dá la transformación del  $C O$  en  $C O_2$ , y admitiendo, en virtud del principio "ut supra", que el carbono desprende tanto calor, para pasar al estado de  $C O_2$ , sea directamente, sea transformándose primero en  $C O$ , se valora entonces el calor desprendido por el carbono, pasando al estado de  $C O$  y el desprendido pasando después a  $C O_2$ .-

Los resultados obtenidos por este método, debido sobre todo a los trabajos de Berthelot, son independientes de la posibilidad química de la reacción, pueden servir tambien para demostrar la imposibilidad, pero son muy exactos y dan sin que haya que tener en cuenta otro elemento el calor que desprenderían o absorberían los cuerpos en reacción, tomados en el estado donde se les ha determinado su calor de combustión, para dar nacimiento a los productos de la reacción y llevarlos al estado donde se ha efectuado sobre ellos la otra determinación.-

// Hipótesis de Mayer- "Que una cantidad de calor produzca, por ejemplo, un efecto único cualquiera, conocido o nó, y que éste produzca a su vez y únicamente trabajo mecánico;- el trabajo producido está al calor dispensado en una relación independiente de la transformación intermediaría".-

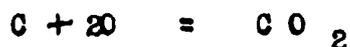
Se puede pues ensayar con este principio los problemas más arduos, calcular "a priori" las cantidades de tal energía dada que pueden producirse por la destrucción de tal otra energía, sin contar el estudio de los estados intermedarios.- Y la hipótesis sobre el calor como un movimiento vibratorio de las "partículas" constitutivas, y la transformación equivalente del calor en trabajo, no es sino la aplicación a este movimiento del teorema de las fuerzas vivas.-

Así en una máquina, el trabajo se ha perdido, el calor ha sido "creado", no hay ninguna otra causa en juego, ningún otro efecto producido;- esto ha sido suficiente para que Mayer en experiencias memorables, determinara el rendimiento calorífico del trabajo, o el equivalente mecánico del calor, cada kilográmetro correspondía a  $\frac{1}{425}$  de caloría;- esto está abonado por numerosas experiencias, que apoyan dicho principio.-

Se puede admitir entonces el principio de la conservación y de la transformación de la energía, como deducidos de la hipótesis que el calor y los otros agentes físicos no son sino fases de movimiento.-  
-----

Los trabajos de Proust (1806) lo llevaron al descubrimiento de una ley muy importante:- "Dos cuerpos, para formar un mismo compuesto, se combinan siempre en la misma relación, es decir, en proporciones invariables".- Así la combustión es una acción estable, siempre igual a ella misma, la combinación definida una vez por todas, de las cantidades res-

//pectivas, matemáticamente fijas, de combustible y de comburente.- Y podemos completar según los datos de la experiencia la ecuación:



12 gramos de carbono más 32 gramos de oxígeno forman 44 gramos de  $CO_2$ .-

Es esta una reacción tipo; en realidad y aunque se aplica a la mayor parte de los casos, ella no representa, siná una combinación particular entre varias que pueden tener lugar en el fenómeno de la combustión.-

El carboná ná es el único cuerpo combustible, es así que el gas de alumbrado, por ejemplo, contiene hidrógeno que arde formando vapor de agua:



2 gramos de H y 16 de O forman 18 de vapor de agua. Este mismo hidrógeno forma con el carbono un gran número de carburos, que existen en la hulla, el metano y el gas de alumbrado, etc.- Hay en su combustión, formación simultánea de  $CO_2$  y de vapor de agua:



26 gramos de acetileno y 80 gramos de oxígeno forman 88 gramos de  $CO_2$  y 18 gramos de vapor de agua.-

Sabemos también que las reacciones difieren según la naturaleza de los combustibles empleados y además un mismo combustible puede quemar de varias manera diferentes según las condiciones en que actúe; por ej. el carbono, se oxida de ordinario al estado de  $CO_2$ ; pero, si la cantidad de aire es insuficiente, hay combinación con una cantidad menor de oxígeno y formación de CO:



12 gramos de C + 16 gramos de O forman 28 gramos de CO.-

Falta en estas reacciones la cantidad de calor despendida en cada reacción.- Pues en la combinación de 12 gramos de C con 32 gramos de

//oxígeno, no se produce solamente 44 gramos de  $\text{CO}_2$ ; se forma es natural cierta cantidad de calor ( 8.137 calorías ), calor que se determina en calorías como se mide en gramos los cuerpos que actúan.-

Entendiendo por caloría, con Berthelot, la unidad de calor, es decir la cantidad de calor absorbida por un gramo de agua líquida pasando de  $15$  a  $16^\circ \text{C}$ ; se le definiría más exactamente por la relación  $\frac{dQ}{dt}$ , es decir por el límite hacia el cual tiende la relación entre el calor absorbido por el agua durante un intervalo de tiempo infinitamente pequeño, y este intervalo mismo, todo contado a partir de  $15^\circ \text{C}$ .- Y relacionada la caloría a las unidades generales de medida, relacionándola como equivalente a un cierto trabajo mecánico, se mide por 426 Kgs.

La caloría definida así, no varía sino de una manera extramadamente pequeña cuando se tiene el agua a una temperatura vecina de  $15^\circ$  y hasta comprendida entre  $9^\circ$  y  $20^\circ \text{C}$ : de tal manera que se tiene la costumbre de considerar como constante el calor absorbido por el agua para cada grado comprendido en este intervalo de temperatura, lo que simplifica los cálculos.- Se disminuye el pequeño error así cometido relacionando la caloría a un cc. de agua, en lugar de un gramo; el peso del cc disminuye a partir de  $4^\circ \text{C}$  (pues aumenta de volumen) mientras que su calor específico aumenta poco a poco.- De este modo el error de cálculo que se comete es inferior a los errores de la experiencia.-

Como las cantidades de calor desprendidas en las reacciones químicas son a menudo enormes, se ha convenido en emplear dos especies de calorías: las calorías ordinarias pequeñas, definidas con relación a un gramo de agua y expresadas con minúscula: 100 c a l y las grandes calorías, mil veces mayores, o sea relacionadas a un kilogramo de agua y expresadas con mayúscula: 100 C a l.-

Se podría preguntar, de donde proviene este calor?. Cuánto es el

//número de calorías producidas y la cantidad, es igual en las diferentes reacciones?.-

Actualmente no se considera el calor como un fluido material, más o menos estrechamente unido a los cuerpos ponderables; la mayor parte de los físicos consideran al calor como una fase del movimiento molecular de la materia, (H.Schoentjes 1904), que modifica el estado físico y químico de los cuerpos, y cambia el estado de agregación de la materia, sabemos que las moléculas (o partículas) de un cuerpo están en un estado de agitación continua, ellas giran sobre sí mismas, al mismo tiempo que son animadas de movimientos de traslación o de oscilación, y si la temperatura se eleva, las velocidades aumentan, si ella desciende, las velocidades disminuyen.- La sensación que se experimenta al contacto de un cuerpo caliente resultaría según esta hipótesis, de la conmoción producida sobre los nervios por la agitación molecular.- Y exponiendo un cuerpo a una fuente calorífica, se aumenta la velocidad de sus moléculas, estas tienden a alejarse, las unas de las otras, y sustraerse de la cohesión; resulta que el cuerpo se dilata.- La cohesión tiende a mantener las moléculas reunidas, mientras que el calor en sus impulsiones más y más fuertes, tiene por efecto apartarlas las unas de las otras, y aumentar sus distancias medias.- La atracción molecular (cohesión) y el calor, son dos principios antagónicos que rigen el estado de agregación de la materia; y la naturaleza del movimiento vibratorio depende de este estado: en el estado sólido, cada molécula oscila en línea recta de una parte a otra, de una posición media fija; si el sólido es calentado, las velocidades crecen a una temperatura determinada, el carácter del movimiento vibratorio cambia; las moléculas en lugar de oscilar en línea recta alrededor de puntos fijos, van de una molécula a otra, la órbita de cada una de ellas está circunscripta por las moléculas que las rodean.- La cohesión no se ha destruído aun, pero ha disminuído en mucho.-

// En este nuevo estado de movimiento, el cuerpo está líquido; si él presenta una superficie libre es decir, no limitada por un sólido u otro líquido, se concibe que las moléculas superficiales puedan abandonar la masa y sustraerse enteramente a la cohesión: es la evaporación .-

Si el líquido es calentado a su vez, las velocidades aumentan aun; en un momento dado, las moléculas escapan a la cohesión, no es más oscilatorio; cada molécula se distiende en todo el espacio ocupado por la masa gaseosa; chocando las moléculas que ella encuentra rebotando contra ellas y contra las paredes; su velocidad cambia constantemente de dirección pero queda constante tan largo tiempo como la temperatura permanece invariable.- La presión de los gases contra las paredes de sus envolturas, resulta de estos choques constantemente renovada.-

Si  $v$  es la velocidad de una molécula animada de este movimiento debido al calor, y  $m$  su masa,  $m v^2/2$  medirá su energía actual.- Será el trabajo que la molécula hará, si su velocidad pasa del valor  $v$  a cero.- La suma de energías  $\sum m v^2/2$  de todas las moléculas es: "la energía calorífica"; ella mide el calor contenido en el cuerpo.- Un cuerpo al cero absoluto, a  $- 273^\circ$ , no tiene calor; sus moléculas privadas de velocidad, no producen más presión sobre su envoltura.-

La energía siendo indestructible, y el calor no siendo sino una forma particular de la energía actual, se concibe que el calor pueda transformarse en trabajo, y que empleando (gastando) trabajo mecánico se pueda obtener calor en cambio.-

Roberto Mayer, Joule en 1842 y posteriormente muchos otros han probado "la equivalencia mecánica" del calor o sea la proporcionalidad entre el trabajo y el calor, y que este último produce trabajo recíprocamente.-

// Por otra parte este principio de equivalencia es demostrado experimentalmente cuando se trata de trabajo exterior y visible de las máquinas; ha conlucido a aplicarlo a los trabajos moleculares que acompañan a los fenómenos químicos, a tal punto que en físico-química se consideran los átomos como formados por el remolino incesante de una multitud de electrones cargados positivo o negativamente. Según Berthelot-y como resultado de sus experiencias de termo-química en-"todas las condiciones iguales" la cantidad de calor desprendida en una reacción es fija y puede ser determinada una vez por todas.-

Por ejemplo:  $C + 2 O = C O_2 + 8.137 C$

12 gramos de C    32 gramos de oxígeno = forman 44 grs.de  $C O_2$  y desprenden 8.137 C.-

Esta cantidad depende únicamente para los mismos cuerpos actuantes, del estado inicial y del estado final del sistema, cualesquiera que sean la naturaleza y la serie de los estados intermedarios.- Si por ejemplo, oxidamos lo menos posible el carbono obtendremos menos calor que oxidándolo completamente:



pero si en seguida hacemos quemar el  $C O$  para obtener el  $C O_2$ , la cantidad de calor desprendida será tal, que agregada a la ya producida en la primera oxidación, ella forma un total igual al calor que hubiera desprendido en una sola vez la oxidación completa del carbono.-

Sabemos que: "calor específico": es el número de calorías necesarias para elevar de 1º grado la temperatura de la unidad de peso de cada cuerpo.-

El calor absorbido por un sólido para su pasaje al estado líquido, sin cambio de temperatura, se llama "calor latente de fusión", ella

//es para el hielo de 79.25 C, y "calor latente de vaporización" si es un líquido para transformación en vapor, el del agua es de 537 C con agua a 100°.-

A medida que se va formando el vapor, posee una fuerza de expansión, esta tensión crece con la cantidad producida, en un espacio cerrado invariable hasta un máximo, a partir del cual no hay más vaporización:- es la tensión máxima;-el vapor teniendo la tensión máxima correspondiente a su temperatura se llama vapor saturado.- Un vapor saturado que se le somete a una reducción de volumen guarda la máxima tensión máxima, una parte pasa al estado líquido; si después de comprimirlo se eleva la temperatura habrá formación de vapor.- La tensión máxima varía según la temperatura, su valor es fijo para cada temperatura.-

#### " FUENTES DE ENERGIA CALORIFICA "

-0-

La única fuente de energía usada para obtener las calorías necesarias para la mayor parte de las operaciones industriales, es la energía o calor latente contenido en los combustibles, en primer lugar los combustible vegetales, después, desde hace dos siglos, la hulla.-

Pero la energía utilizable acumulada en la superficie de la tierra o recogida por ella del calentamiento solar, se ofrece bajo las formas múltiples de potencia-motriz: "trabajo" - "fuerza viva" - "electricidad" - "reacciones químicas";- ella es producida por las caídas de agua, por el viento, por las corrientes eléctricas, por las pilas eléctricas, y puede bajo todas estas formas ser transformada en calor.- Se puede decir en general:- que la energía térmica, la caloría, es la última etapa hacia la cual tienden las diversas formas de la energía.- A esta fuente de ene

//gía se agregan la electricidad, el calentamiento eléctrico.- La energía mecánica, abundantemente producida por la electricidad, transformada en calorías, es la proveedora de todas las industrias ubicadas en las proximidades de una caída de agua.- A esta fuente de energía hay que agregar ciertas energías químicas que han sido aprovechadas por venir en ayuda, en las operaciones que exigen una temperatura elevada, al calor precedentemente producido por los combustibles y a veces reemplazarlos completamente, así en el convertidor Bessemer, la energía térmica suministrada al convertidor por el hierro en fusión, se agrega la energía química desprendida por la oxidación del fósforo o del Si, a la combustión del carbono del hierro y la energía cinética o elástica acortada por el fuelle.-

Se sabe que la ley fundamental que rige invariablemente todas las manifestaciones de la energía;- es el "principio de la conservación de la energía" que no es otra cosa que la afirmación de la imposibilidad de crear energía, *potentia-motris*.-

Esta ley es el principio de la equivalencia de las diferentes formas de la energía, que es la recíproca, bases de la termodinámica, tienen como consecuencias prácticas colocándose desde el punto de vista del problema industrial, a precisar, pues como no se puede crear energía, es menester mayor aprovechamiento, la mejor economía.-

Para ello es menester hacer el inventario, es decir avaluar en calorías la energía disponible.- Inventario que no es siempre fácil y eligiendo un caso, por ejemplo, el de los hogares comunes calentados por combustibles, se verá que el P.C. tal cual lo da el obús calorimétrico, da una cifra de calorías correspondiente a "una combustión a volumen constante acompañado de una condensación del agua producida", es decir, en condi.

//ciones muy diferentes a la de las combustiones en los hogares, de donde la necesidad de una doble corrección en el inventario inicial del calor disponible, y esto es tanto más necesario porque frecuentemente en los "balances térmicos" de una operación industrial, la medida de uno de los elementos del balance falta o no es posible: sea la pérdida por radiación de un hogar que es desconocida, ya sea el dosaje del agua en los humos o en los gases que faltan.- Se calculará este elemento por diferencia: pero esto no es posible sin gran error, si la energía total no es perfectamente conocida.-

Cuando varias fuentes de energía están en juego, la valuación de la energía total disponible es más difícil aún, pues la energía química es función de la temperatura, y el calor de reacción a una temperatura dada, no puede determinarse si no se conocen los calores específicos o de calentamiento de los componentes y compuestos, "las fases" de la reacción (Sarnot).-

Pero por difícil que sea este inventario inicial, no se debe prescindir de él y el mayor rigor debe presidir las medidas, porque esta energía total puesta en obra es la única base fija, al cual debe ser relacionado "calor utilizado" y "calor perdido";- es el punto de partida de esta "contabilidad de calorías" que es necesario conocer.- La ley de equivalencia de las energías comporta algunas restricciones en el sentido que no es siempre posible transformar la totalidad de una energía dada en potencia motriz de especie determinada.- Por ejemplo, en las pilas, la energía química no da en general una corriente eléctrica expresada en joules, equivalente a las calorías que la termo-química indica;- en general, en las combinaciones químicas y mismo en las combustiones, es imposible

//transformar en trabajo la totalidad de las calorías;- en el caso mismo de la comb. del carbono, un cálculo de H. Le Chatelier ha demostrado que la pérdida inevitable de esta transf: "calor-trabajo", llegaba a 7 p 100.- Este calor no transformable, prácticamente en fuerza motriz -calor compensado- interviene mismo en las leyes generales de la química para modificar y corregir el principio del "trabajo máximo" de Berthelot .-

Pero cuando el último término de la transf. es un desprendimiento de calor, una producción de calorías, el equivalente puede ser completo;- toda la energía puede transf. en calorías;- sea directamente por una sola máquina, sea indirectamente haciendo uso de dos máquinas sucesivas;- la única dificultad consiste en tener estas calorías bajo una forma, o a un potencial que permita su utilización, o encontrar medios de recuperación que impida que ellas se pierdan.-

-----

" El calentamiento industrial tiene por objeto realizar una temperatura más o menos elevada con economía, en una cavidad de dimensiones dadas, haciendo uso de un combustible dado, para efectuar una operación o reacción química dada".-

Alta temperatura - economía - combustibles diversos - dimensiones del hogar o laboratorio - operación o reacción química dada:- tales son las cinco variables del problema, los objetivos que presenta la industria en su infinita variedad (Carnot et D'Amour), y que el técnico debe considerar si quiere comprender el hogar, conducirlo bien, remediar sus defectos, y aportar a cada caso particular la solución racional.-

Quando a mediados del último siglo Siemens, inventor del calentador a gas a regeneración, hizo su primer horno de acero sobre el suelo, la solución que dió fué tan perfecta que de un solo golpe realizó una eco

//nomía de la mitad del combustible y a temperaturas superiores a aquellas que la industria antigua podía llegar, permitió calentar laboratorios de dimensiones hasta entonces desconocidas, prestándose a aplicaciones tales como la fusión del acero y la del vidrio, empleando combustibles hasta entonces usados en metalurgia como antracita y aserrín de madera (el célebre horno de acero Siemens).-

- II -

COMBUSTIBLES EN GENERAL

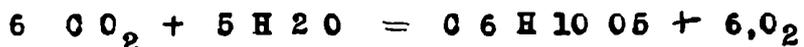
Se llama combustible toda substancia capaz de combinarse, con una elevación de temperatura, al oxígeno del aire.-

El combustible constituye una reserva de energía que se le utiliza en el momento deseado, provocando su inflamación al contacto del aire.- El combustible y el aire ambiente realizan pues un sistema fuera de equilibrio que se puede transformar produciendo calor, es decir, potencia motriz.- Esta transformación debería por consiguiente hacerse espontáneamente.- Si ella no se produce se debe a existencia de resistencias pasivas que pueden ser anuladas de diferentes maneras; sea elevando suficientemente la temperatura procediendo universalmente para inflamar los cuerpos; sea con la ayuda de catalisadores convenientes, permitiendo a la oxidación efectuarse a la temperatura ordinaria.-

Los fermentos constituyen tales catalisadores, y se sabe que la madera que se pudre en el aire, desaparece poco a poco bajo forma de  $C O_2$ , y vapor de agua.- La hulla se oxida también espontáneamente (combustiones espontáneas) y los estudios de Moissan han demostrado igualmente que el carbón de madera comienza a combinarse al oxígeno a la temperatura de  $100^{\circ}$ .-

En cuanto a la proveniencia de esta energía almacenada en los combustibles, la encontramos en la radiación solar,- Todos los combustibles, en efecto, exceptuando quizá los petróleos cuyo origen es discutido, provienen de vegetales.- El crecimiento del vegetal necesita un consumo

//de energía;- la celulosa, que constituye el elemento fundamental, ha sido formada a partir del  $C O_2$  y del vapor de agua atmosférico, según una serie de reacciones complejas pero que se puede escribir:-



Esta reacción es fuertemente endotérmica pues que es precisamente la inversa de la combustión de la celulosa.- Ella no ha podido producirse sino gracias a la energía solar.- Bajo la acción de la luz, las partes verdes de las plantas han absorbido el  $C O_2$  del aire que han regenerado el oxígeno.- Esta ha sido la reacción definitiva que no es sino la resultante de una serie probablemente muy compleja de reacciones elementales sobre las cuales se ha podido hasta hacer hipótesis.- Baeyer dice que el primer término de esta serie sería la aldehida fórmica, formada según:-



Esta aldehida se polimerizaría y se condensaría a medida de su producción, dando nacimiento a azúcares, después al almidón y a celulosa. Se debe observar que el almidón no se puede transformar directamente en celulosa pues como lo observa Shreap, estas dos sustancias derivan de dos cadenas diferentes:- la primera dá por hidrólisis maltosa;  $C_{12} H_{22} O_{11}$ , mientras que la segunda se resuelve en un isómero: la celulosa.- Es menester descender hasta el término  $C_6$  para encontrarse, dice Baeyer, el mismo producto de "degradación"; la glucosa.- El almidón no puede pues transformarse en celulosa, sino por una hidrólisis previa, no juega por consiguiente en el desarrollo de la planta sino el rol de substancia de reserva.-

// Como sea, el rendimiento de la energía luminosa en la asimilación clorofiliana es muy malo; evaluando sucesivamente el número de calorías recibidas anualmente por una superficie dada del suelo bajo nuestra latitud, y el poder calorífico de los vegetales formados durante el mismo tiempo se encuentra que él no llega al 1/4 s/ cálculos.-

Este rendimiento deplorable se explica por las malas condiciones en las cuales trabajan las plantas, que están obligadas a extraer su carbono de un ácido carbónico extremadamente diluido, pues el aire atmosférico no encierra sino un milésimo próximamente en peso de este gas.-

La energía radiada por el sol sobre la superficie de la tierra equivale a 200 billones de caballos vapor.- De estas radiaciones las plantas no absorben sino la parte comprendida en el rojo y el amarillo del espectro y asimilan diariamente bajo esta influencia 4 mil millones de kilogramos de  $C O_2$  lo que corresponde a 15 mil millones de caballos-vapor-hora.-

Si se ensaya en aumentar artificialmente la riqueza de la atmósfera en ácido carbónico, no se obtiene ninguna ventaja, al contrario, la planta no estando habituada a vivir en estas condiciones, no tarda en morir.-

Sabemos que la teoría de la combustión ha variado con las teorías químicas.-

Así Stahl veía una emisión de flogisto, Lavoisier la acción de libertar el calórico, Berzelius una neutralización de fluidos eléctricos.- Y los químicos modernos ven una pérdida de energía química recompensada por una producción equivalente de calor.-

Ahora para que la combustión se efectúe es menester que las moléculas reaccionantes estén en condiciones de energía química dadas; si estas condiciones persisten, si por ejemplo, ellas son el efecto de la

//combinación, la combustión continuará.- Así el azufre no arde en el aire sino en  $285^{\circ}$  proxímanente, porque a esta temperatura solamente en las circunstancias ordinarias, el azufre se une con el O, y esto despremiendo mucho calor, para que las partes vecinas del sitio de la combustión sean llevadas a  $285^{\circ}$  por lo menos, qué es menester para impedir a un trozo de azufre quemar cuando se lleva una porción a  $285^{\circ}$  ?.- Es suficiente que la combustión de esta porción sea impotente para llevar una porción igual a  $285^{\circ}$  o que esta temperatura de inflamación sea cambiada.-

La temperatura inicial, el poder conductor, la capacidad calorífica, la masa, la configuración del cuerpo combustible, las propiedades del producto de la combustión, el contacto de un buen conductor, el poder refrigerante, la presión y el movimiento del medio ambiente, etc., tienen una influencia manifiesta: así el Mg arde en el aire cuando está en hilos delgados y se apaga, cuando está en gruesos fragmentos, la antracita en trozos aislados se apaga y una mezcla detonante extendida de una gran cantidad de gas no se inflama en el eudiómetro, etc. -

En los hogares industriales, alimentados a hulla o madera, se podría representar así el mecanismo teórico de la combustión(Baillet).-

El combustible que se acaba de introducir en el hogar no se enciende inmediatamente; primero se calienta hasta una temperatura de  $300^{\circ}$  a  $400^{\circ}$  C (para maderas  $300^{\circ}$  C; coke  $500^{\circ}$  a  $600^{\circ}$  C. gas  $900^{\circ}$  C); este calor es quitado a las masas vecinas en incandescencia.-

El aire con el cual está en contacto se ha calentado también pasando entre los barrotes de la parrilla y la capa inferior de los fuegos; y es solamente bajo la doble influencia del calor y del aire caliente que la hulla entra en descomposición, o sea se oxida despremiendo calor y luz. Entonces el carbón y la madera se requiebrajn, se hinchan, y producen chorros de gases que se inflaman en seguida o después de un momento, o desa-

//parecen sin inflamación.- No puede en efecto haber oxidación si estos gases no son suficientemente calentados; y él tiene lugar por contacto con otros chorros a más alta temperatura.- Finalmente, después del desprendimiento de todos los gases combustibles, quedan trozos de coque incandescentes quemando sin llama, sin humo hasta que no haya sino cenizas pulverulentas, pasando a través de la parrilla, o vitrificadas en forma de "maquefer" que se quitan periódicamente.-

Mientras dura la combustión, el calor varía en todo sentido: una parte se pierde en el cenicero, otra se calienta por conductibilidad las paredes del hogar y el maciso de albañilería; otra queda en las cenizas y en los escarbillos.-

La mayor parte es transportada por las llamas que van a calentar las paredes de la caldera o de los hervidores; el resto calienta el economizador, los recalentadores y finalmente el que queda en la caja de humo es arrastrado en la chimenea y no juega otro rol que el de entretener el tiraje.-

El aire en este caso actuó de comburente.-

### COMBUSTIBLES Y COMBURENTES

Las denominaciones usuales de cuerpos combustibles y comburentes no es muy exacta y su clasificación es algo artificial.- Pues en una reacción exotérmica no es posible distinguir fácilmente el cuerpo que arde del cuerpo que lo hace arder; a pesar de la apariencia, no es fácil constatar cual cede su calor latente, y cual reserva intactas sus calorías.- Pues se puede, por ejemplo, a voluntad, hacer quemar el hidrógeno en el aire o, por medios fáciles hacer quemar el oxígeno en una atmósfera de hidrógeno.- Ahora por comodidad se conserva esa diferencia, pues responden prácticamente a la realidad: los combustibles como hemos dicho

///son los cuerpos que, bajo la influencia de una elevación de temperatura se unen al oxígeno del aire con desprendimiento de calor.-

No obstante la múltiple variedad aparente de combustible, encierran todos una composición elemental análoga, por lo menos reducida a algunos elementos simples: que son: C — H — O y sus múltiples combinaciones.-

El aire: comburente sufre también en su pasaje a través de la capa del combustible, transformaciones sucesivas que se pueden explicar suponiendo el combustible dividido en tres capas superpuestas (Baillet).-

Al penetrar en la capa inferior, el aire, aporta algún calor tomado en su pasaje a través de los barrotes de la parrilla: el calentamiento es completado al primer contacto con el combustible.- Una parte del O se combina al carbono con producción de mucha cantidad de calor, de suerte que a la salida de la primera capa, los gases se componen de una mezcla muy caliente de anhídrido carbónico, oxígeno y ázoe.-

En la segunda capa, al contacto del carbono incandescente, hay de nuevo formación de  $C O_2$  a expensas del oxígeno, y formación de  $C O$ , a expensas del  $C O_2$ , que va llegando, (para que esta reducción tenga lugar es menester que se haga en el seno de una masa de carbón muy incandescente -mayor de  $900^{\circ} C$ - pues como absorbe una enorme cantidad de calor, lo que enfria la masa y los gases la atraviesan.- Pero cuando, en seguida hay combustión de  $C O$ , habrá restitución de este calor.-).

Y en fin, en la capa de hulla al primer estado de descomposición además de las reducciones precedentes, se forman nuevas combinaciones debidas a los gases destilados.- Todos estos fenómenos no se producen metódicamente, depende del estado de cada punto de la capa del hogar.- Si a su salida del fuego los gases están muy mezclados y la cantidad de oxí-

//geno es suficiente, se tendrá combustión completa y producción máxima de calor; si no, hay combustión incompleta, es decir, pérdida de calorías. Es lo que ocurre en la práctica.-

CONDICIONES FISICAS DE LA COMBUSTION

Las condiciones físicas o materiales en las cuales tienen lugar la combustión serían: 1º La intimidad del contacto entre el aire y el combustible.- 2º La compacidad del combustible, en otros términos, su resistencia a la formación de agujeros de aire.-

La primera condición es evidente: pues la combustión será tanto mejor, cuanto más poroso sea el coque sobre la parrilla, pues facilitará la aereación.-

La compacidad tendrá también su importancia: es menester que la cokificación sea suficiente para evitar la pulverización y el tamisaje de los pequeños trozos a través de la parrilla, sin llegar a la otra exageración: que la compacidad sea tal que la capa en ignición se muestre impermeable al aire.-

En efecto, en los puntos donde el carbón está en menor espesor, el aire cava agujeros o "corto-circuitos" de aire por donde la mayor parte del aire pasa" sin participar de la combustión" y no sirve sino para causar un exceso perjudicial de aire.-

" CALOR DE LA COMBUSTION "

Se puede determinar por el cálculo la temperatura a la que son llevados los gases resultantes de la combustión a causa de la oxidación del combustible, conociendo el peso de combustible y de combuyente, el número de calorías desprendidas en la reacción por una parte;- y por otra

//parte el peso de los productos residuales y su calor específico, es decir el número de calorías absorbidas por la unidad de peso para la elevación a una temperatura dada;- se puede entonces calcular la temperatura máxima de la combustión.-

En la reacción:-  $C + 2 O = C O_2$ , por ejemplo, se sabe que para quemar 12 gr. de carbono, es menester 32 gr. de O, sea por kgr. de C: 2 kgr. 66 de oxígeno, produciendo  $1 + 2,66 = 3$  kgr.66 de  $C O_2$ .- El calor específico del  $C O_2$  es 0,216 calorías por kgr., el número de calorías indispensables para elevar de un grado Celsius, la masa de gas residual es :  $0,216 \times 3,66$  .- Como la cantidad total de calor producido por la oxidación completa del carbono es de 8,137 C, la temperatura máxima de la llama será:-

$$\frac{8,137^a}{0,216 \times 3,66} = 10.293^a C$$

El exceso de ázoe y de humedad.- Pero hemos supuesto que no había que calentar los cuerpos fríos puestos en presencia, y el exceso de ázoe inútil aportado por el aire con el oxígeno.- El solo hecho del empleo del aire como comburente, se introduce 3,32 veces más ázoe que oxígeno, de donde una cantidad de  $2,66 \times 3,32 = 8,83$  de ázoe a calentar.- Lo que exige para cada grado (el calor específico del ázoe es 0,244) un exceso de absorción de calor igual a  $8,83 \times 0,244 = 2,154$ .-

La temperatura viene ha ser:-

$$\frac{8,137^a}{(0,216 \times 3,66) + 2,154} = 2.767^a$$

se vé la diferencia considerable motivada por el solo hecho de la presencia del ázoe, y toda la importancia que tendrá la introducción de un mínimo de aire. Se han hecho muchas tentativas con el objeto de emplear

//un comburente más rico en oxígeno que el aire.-

Los carbones contienen una cierta cantidad de agua;- algunas veces se le agrega a designio.- Por otra parte, el aire contiene siempre vapor de agua.- En fin, los carbones contienen hidrocarburos que arden con formación de vapor de agua.- Todos estos factores influyen aún, sobre la marcha de la combustión, y perjudican la perfecta utilización del calor.-

Suponiendo en el combustible un mínimum de 5 % de humedad.- Hay pérdida de calor, sea para llevar esta agua de la temperatura ambiente hasta 100°, enseguida para transformarla en vapor, después para elevar la temperatura ; la pérdida es tanto más elevada cuanto que el calor específico del vapor de agua es considerable (0.479 calorías)- hasta la disociación que tiene lugar a 1000° C , para descomponer el vapor.- La reacción  $C + H_2O = H_2 + CO$  es en efecto endotérmica.- (calorías absorbidas 27.724).-

Así, lejos de mojar el carbón, se debe aplicar o emplear combustible y comburente al estado más seco posible, debiendo para esto secar el carbón antes del empleo, así es común abrigar el carbón bajo hangares y en el caso del empleo de combustibles vegetales (aserrín, virutas, bagaso), el secado es necesario.-

Otras pérdidas de calor.- Además del exceso de azoe y de humedad, un gran número de factores, cuya influencia es más difícil en cifrar, contribuyen igualmente al descenso de la temperatura del hogar.-

El macizo de mampostería, a pesar del empleo de ladrillos

//los refractarios , absorben una gran cantidad de calorías.- Las suspensiones para la introducción de combustible o el arreglo del fuego, son pérdidas tambien.-

Otra causa de enfriamiento, a menudo no considerada, es debido al contacto demasiado rápido de los gases destilados por el carbón, con los fierros o tubos de la caldera, los cuales estén a una temperatura baja con relación al hogar.- Este enfriamiento impide a los gases quemar y dá nacimiento al humo;- se evita esto observando una distancia de la parrilla a los tubos racionalmente establecida;- es decir, grande para los carbones grasos y débil para los combustibles de corta llama (Izart).-

En fin, como hemos visto, el empleo del aire como comburente, lleva necesariamente una pérdida de calorías para el calentamiento del azoe;- pero es indispensable, para asegurar la perfecta combustión, llevar un exceso de aire.- Pelet y Jomini, que han estudiado la combustibilidad de un gran número de cuerpos diversos, mostraron que se trata de un fenómeno general, y nó, como se le podría creer, de la nó homogeneidad de la mezcla combustible-comburente.-

-----

-o-( EL COMBURENTE )-o-

-----  
-o-o-  
o

El comburente usado en la casi totalidad de las combustiones es el aire, pues es insustituible; por ser gratis, existir en todas partes del globo terráqueo y tener una composición constante.- Sabemos que la abstracción hecha del vapor de agua y del  $C O_2$ , es la siguiente

N	% en volúmen	79.04	y en peso	76.83
O	" " "	20.96	" " "	23.17

que relacionando el aire y el N., al oxígeno:-

N/O	en volúmen	3.77	y en peso	3.32
aire/O	" "	4.77	" " "	4.31

Las relaciones N/O y aire/O son invariables, y según la temperatura del aire utilizado, habrá aporte diferente de calorías.- Además, el estado higrométrico del aire es variable. Sabemos que la presencia de vapor de agua -como ya hemos dicho- produce pérdida de calorías.-

Cantidad de aire comburente

Por la composición química se puede calcular la cantidad teórica de comburente, o sea el volúmen de aire necesario para oxidar durante la combustión, el carbono y los carburos.-

Sea por ejemplo un combustible que contiene 81 % de carbono, 7 % de cenizas y 12 % de materias volátiles, y con 3.5 % de hidrógeno

//geno libre.-

El  $C O_2$  contiene en peso 27.27 % de carbono y 72.72 % de oxígeno.- Ahora para transformar en  $C O_2$  los 810 gr. de carbono contenidos en un kilogramo de este combustible, se necesitará:-

$$\frac{810}{27.27} \times 72.72 = 2.160 \text{ gr. de oxígeno}$$

y siendo el peso del litro de oxígeno gr.1,43:

$$\frac{2.160}{1.43} = 1.510 \text{ litros de oxígeno del aire}$$

Y como el volúmen del  $C O_2$  formado es igual al volúmen del oxígeno que lo ha formado;- se han producido 1510 litros de  $C O_2$ .-

Y como el aire contiene 21 % de oxígeno y 79 % de N, se deberá emplear:-

$$\frac{79}{21} = \frac{x}{1510}; \quad = 5.680$$

( Litros de N que con los  
1.510 litros de  $O_2$  sea en  
total 7.190 litros de aire,  
cuyo volúmen queda invariable.-

Los 35 grs. o/oo de hidrógeno pesan grs. 0.089 por litro, hay pues  $35 / 0.089 = 393$  litros.- Y para que el hidrógeno quemé con la mitad de su volúmen de oxígeno, será menester  $393/2 = 196$  litros de oxígeno para formar agua.-

Ahora este oxígeno comprende un volúmen de  $(196/21) 79 = 737$  litros de aire.-

El total del aire empleado en la combustión del hidrógeno, será:-  $196 + 737 = 933$  litros.-

Se habrá así empleado, para oxidar el carbono y el hidrógeno del combustible:-

$$7.190 + 933 = 8.123 \text{ litros de aire.}$$

//lo que comparado a la cantidad de  $O_2$  (1.510 l.) dará un tenor en  $O_2$  de  $(1.510 \times 100) / 8151 = 18.5 \%$  - admitiendo los gases llevados en las condiciones de temperatura y de presión existentes antes de la combinación - si la temperatura como en este caso es mucho más elevada, el volumen cambia, pero la relación queda igual, pues "todos los gases se dilatan igualmente".-

Este cálculo (Ser) nos da una aproximación muy suficiente pero en realidad sabemos que las cosas son más complicadas.- Pues en los combustibles existen además del C y del H - C O, S, etc., que habrá que tener en cuenta.-

Para un cálculo de mucha precisión, según Roussel et Chappot habría que tener en cuenta el oxígeno preexistente en los combustibles: para ello será suficiente restar del total del O calentado:  $m^3 O$ , 699 por kgr. de O encerrado en el combustible.-

En cuanto a la cantidad de aire comburente mínima a la cual es necesario -en la práctica no hay buena combustión sin exceso de comburente- se calcula de 11-12  $m^3$  por kgr. de carbón o sea un tenor de 12 á 13 de  $O_2$  % de gases quemados (para buenas combustiones).-

#### Cálculo del volumen de aire que ha servido a la alimentación

Hemos visto que la combustión no es posible sin un exceso mínimo de aire;- también hay siempre en realidad, en los gases de la combustión, presencia de aire no consumido;- los resultados del análisis permiten calcular, -como acabamos de ver,- la cantidad total del aire, que ha servido para la alimentación.-

Durante la combustión, sabemos que el oxígeno, transforma-

//do en  $C O_2$ , produce un volumen de  $C O_2$  igual al suyo, no hay pues cambio de volumen, y el cálculo de la cantidad de gas residual podría dar igualmente el volumen del aire que ha pasado al hogar;- lo mismo se dirá de la combinación del azufre con el oxígeno,- Pero la formación de  $C O$  dá un volumen de  $C O$  igual al doble del volumen del aire, y los hidrocarburos contribuyen tambien en muy pequeña medida a aumentar el volumen.- Además el hidrógeno contenido en los combustibles, exige para su transformación en agua -eliminada por condensación- ocho veces su peso de oxígeno.-

Teniendo en cuenta que la única corrección realmente útil, relativa a la desaparición del oxígeno, y sabiendo que cada gramo de H % contenido en un kilogramo de combustible, transformará en agua 55,9 litros de oxígeno, se puede modificar así la fórmula anterior dando el volumen total de los gases residuales de  $O_2$  y 760 m m.-

(Scheurer Kestner)

$$V' = \frac{O - c}{(v + v') 0.563 + gr.1.071 v''} + 55.9 H$$

Sea para el aire normal, saturado de humedad, a  $0^{\circ}C$ , bajo la presión de 0 m. 760 y conteniendo 0.04 % de  $C O_2$  :-

$$V'' = \frac{O - c}{(v + v') 0.567 + 1.0806 v''} + 55.9 H$$

cuya explicación veremos más adelante.-

### Sobre oxigenación del aire

Si el comburente fuera en vez del aire el oxígeno, la temperatura de la combustión sería mucho más elevada.- Así los inventores

//se han abocado el problema a base de la oxigenación del aire en diversas formas.-

La extracción del oxígeno del aire atmosférico puede hacerse físicamente utilizando los diferentes puntos de ebullición de dos gases previamente liquificados ( O - a -  $182^{\circ}$  ; N - a  $195,5^{\circ}$  ) o el de sus propiedades magnéticas, lo mismo que sus densidades.- Fundado en este último procedimiento, ha hecho Guédon (1) muchas y buenas experiencias sobre una caldera de ensayo; el principio del aparato empleado era una turbina de gran velocidad, el oxígeno, más pesado, era proyectado a la periferia, donde se le recoge para conducirlo al hogar.- Por este tratamiento el aire se enriquecía al 26 % de oxígeno en lugar del tenor normal 14 %.-

Linde propone enriquecer el aire comburente por la destilación fraccionada del aire líquido.-

Cálculo del tenor en N y de CO en los gases de la combustión  
Se dosan por absorción.

Sinal y Timmerman usan el s/cálculo: sea m el volumen de  $CO_2$  contenido en 100 volúmenes de gas, y n el volumen de oxígeno libre, el volumen de o combinado contenido en  $CO_2$  es igual a m, y el volumen de o contenido en estos dos elementos ( $CO_2$  y  $O$ ) son pues ( m n ).-

Después de la absorción del  $CO_2$  y  $O$ , los 100 volúmenes de gas han venido a ser:  $100 - ( m n )$ .-

Pues el aire atmosférico se compone en volumen de cuatro partes de  $N_2$  y una de  $O$  (79 y 21), hay pues necesidad, para producir: (m n) de  $O$ , una cantidad de aire conteniendo:  $4 ( m n )$  de  $N$ .- La diferencia

(1) Rousa et Chaplet.-

//de estos dos volúmenes:  $[100 - (m + n)] - 4(m + n)$  constituye un volumen de gas  $p$  que supondremos ser únicamente  $CO$  y  $H$ .-

Siendo dado que en una masa de  $CO$ , el volumen total corresponde a dos veces el volumen de  $o$  combinado, tendremos: volumen  $O = 2,5$  volumen  $CO$ .- Este oxígeno ha sido producido por una cantidad de aire que contenía una proporción de  $H$ . corresp. según lo que precede, a  $2CO$ .- El volumen  $p$  estará compuesto de tres partes: una parte  $CO$  y las otras dos partes de  $H$ ; de donde  $CO \approx \frac{p}{3}$  (volumen) y  $H = \frac{2p}{3}$  (volumen). El tenor de los gases quemados será:  $CO_2 = m\%$ ,  $o = n\%$

$$CO \% = \frac{p}{3} = \frac{100 - 5(m + n)}{3}$$

$$y: H \% = \frac{2p}{3} + 4(m + n) = \frac{2}{3}(100 + m + n).$$

#### Corrección relativa al vapor de agua

Los gases de la combustión siendo recogidos sobre agua, y puestos en presencia de reactivos líquidos, resulta que el residuo del análisis, después de absorciones sucesivas, no es en realidad ázoe, sino una mezcla de  $H$  y vapor de agua.- Y las proporciones son variables con la temperatura y la presión atmosférica, se puede prescindir en la práctica de esta última influencia, pero no de la temperatura: 100 vol. de gas húmedo a  $21^{\circ}C$ , por ejemplo, no representan en realidad sino 97 vol, 56 de gas seco.-

Sabemos -por la ley de Dalton para los gases- que en una mezcla gaseosa, cada gas ejerce la misma presión como si estuviera solo.- Es menester pues, para obtener la presión sufrida por los gases en la mezcla, quitar de la presión barométrica la tensión del vapor de agua a la temperatura del ensayo.-

Los volúmenes de gas siendo inversamente proporcionales a las

//presiones que se les hace sufrir (Mariotte)se puede escribir:

$$V = v \frac{h - f}{h}$$

V = volúmen del gas seco; v = volúmen del gas húmedo; h = altura barométrica; f = tensión del vapor de agua.- Aplicando esta fórmula según la table de Regnault y para h = 760 , tendríamos el resultado buscado.- Se han hecho tablas como la de Kosalowsky que dan la cantidad real de gas para 100 v. aparentes.-

HUMO:

Se designa bajo el nombre de humo, los gases de la combustión que llevan materias en suspensión que lo colorean, y los hacen opacos. Hay producción de humo cuando se emplean carbonos grasos, o se carga el hogar; en efecto si se emplea una hulla rica en materias volátiles o si se enfría el medio, estas materias no arden completamente y una cierta cantidad es arrastrada por los gases de la combustión.- La coloración de los humos es debido a partículas alquitranosas y de hollín, (partículas de carbón), resultante de la descomposición de los hidrocarburos no quemados y a gotitas de agua en suspensión (1).

No solamente el color del humo es un síntoma de pérdida en la combustión, sino que es un inconveniente para las usinas situadas en las ciudades, como para aquellas que utilizan los gases de la combustión en la desecación de ciertos productos: Es importante algunas veces apreciar la mayor o menor coloración de los humos.-

Se determina la intensidad de la coloración del humo con la ayuda de los diagramas de Ringelmann: compuestos de cuadrados, llevando trazos equidistantes, y muy próximos, cortándose en ángulos restos; vis-

(1) El humo se explicaría así:  $2 CO \rightleftharpoons CO_2 + C$  efectuándose debajo de  $800^{\circ} C$ ; es un contra golpe, de la combustión pues deposita C. que forma con los gases una solución coloidal.-

//tos de una cierta distancia, dan la impresión de un tinte gris tanto más intenso cuanto más largos son los trazos.- Se puede comparar directamente a los tintes numerados, el humo a observar, y cifrar la intensidad por el índice del diagrama del mismo aspecto, o para más precisión emplear el colorímetro de M. Izart.- Este aparato se compone de un tubo que recorre el humo y de un disco compuesto de sectores análogos a los de Ringelmann.- Observando por transparencia el espesor del humo, es fácil ver a qué tinte de referencia corresponde.-

Una lámpara eléctrica ilumina igualmente los tintes a comparar por intermedio de un vidrio despulido.-

#### Volúmen de los gases de la combustión

Por las cifras del análisis y el peso del combustible por una parte, el tenor de los gases en  $\text{CO}_2$  por otra parte, se puede deducir perfectamente, según Rpusset, el volúmen total de los gases de la combustión.-

Conociendo el peso del carbono contenido en el combustible quemado y el peso del carbono contenido en la unidad de volúmen de los gases de la combustión; se deduce asimismo el volúmen de estos, contenidos en la unidad de peso.-

Para determinar el peso del carbono contenidos en los diferentes gases de la combustión se reduce su volúmen en  $\text{kgr. a m}^3$  y se calcula con la ayuda de los pesos moleculares, el carbono que ellos encierran.-

El peso de un volúmen  $v$  (en litros) de  $\text{CO}_2$  será:  $v \times 1,9660$  donde 1,9660 es la masa (el peso) en grs. de un litro de  $\text{CO}_2$  (a  $760 \text{ m m.}$ ) y como 44 grs. de  $\text{CO}_2$  encierran 12 gr. de C. el peso de carbono corresp. al volúmen  $v$  será:



//ción de los hidrocarburos, consideramos su C y su H, como estando libres, y por consiguiente el C. como existiendo en los gases de la combustión al "estado de vapor".-

Para determinar el peso del C contenido en estos diferentes cuerpos gaseosos, se reducen sus volúmenes a kgrs.- o fracciones, y con la ayuda de sus pesos moleculares y el del carbono, se calcula el carbono que ellos encierran.-

Así, el peso del litro de  $\text{CO}_2$   $\frac{0^2}{760}$  es — gr. 1.9660  
 " " " " "  $\text{CO}$  " " " 1.2510  
 " " " " " vapor de carbono " 1.0720.-

Para calcular el peso de carbono contenido en un  $\text{m}^3$  de gases se multiplican los volúmenes adicionados de  $\text{CO}_2$  y de  $\text{CO}$  expresados en litros por el coeficiente grs. 0,5360; se obtiene así el peso del carbono en grs. encerrados en estos volúmenes; se multiplica el volumen v" del "carbono en vapor", expresado en litros por el coeficiente 1.0720 que es el peso de la masa en gramos de un litro de gases a  $\frac{0^2}{760}$  calculada sobre una serie numerosa de experiencias; y se obtendrá así el peso de este carbono en grs; se suma el número de grs. de carbono del  $\text{CO}_2$  y del  $\text{CO}$  y se obtiene la totalidad del carbono e encerrado en el  $\text{m}^3$  de gas:

$$0.5360 (v + v') + 1.0720 v'' = \underline{C.}$$

(Y siempre de la relación entre el C que ha sido consumido y el del encerrado en el gas, se deduce el volumen de los gases que ha sido producido por la combustión).-

Cálculo para el peso del "carbono en vapor"

$$- 1 v.C + 1 v.O = 2 v. CO -$$

2 vols.de  $\text{CO}$  derivan de 1 vol. de O y por consiguiente de 1 vol de C.

// 1 m<sup>3</sup> de C O pesa gr. 1.2510 .

1 m<sup>3</sup> " O " " 1.4300 .-

luego entonces 1 m<sup>3</sup> de C O ha sido formado por 1/2 m<sup>3</sup> de O del peso gr. 0.7150 .-

Y como el m<sup>3</sup> de C O pesa gr 1,2510 ,  $\frac{1}{2}$  m<sup>3</sup> de O pesa la diferencia, entre grs. 1.2510 y 0,7150 o sea gr. 0.5360 ; el m<sup>3</sup> de "vapor de carbono" pesará entonces 2 veces gr. 0.5360 o sea gr. 1.0720 .-

Y resulta entonces que 1 kgr. de C al estado de vapor ocupará un vol. de:  $\frac{1}{1.0720} = \text{m}^3 0,9328$ , o sea 932 l. 80 cc.-

#### Cálculo del calor de combus.del carbono en vapor

Se aplica al carbono, supuesto en vapor, dos coeficientes diferentes; según que se trate de su calor de combustión, comprende o no, su calor de vaporización.-

Si se trata del C en vapor, abstracción hecha de su calor de vaporización y donde el coeficiente es reducido simplemente a volúmen, es suficiente multiplicar el peso del m<sup>3</sup> de C , por el calor de combustión del carbóno sólido.-

Si se toma el carbón de madera por ej., se obtiene: 8137 x 1.072 = 8722 C; y partiendo del diamante se obtendría: 7859 x 1.0720 = 8424 C.-

Si se trata del " vapor de carbono" y comprendido su calor de vaporización se parte del calor de combustión del CO, gas en el cual el carbono está ya vaporizado , y se la compara con el calor de combustión del C combinándose con la misma cantidad de oxígeno para formar el C O.-

Actuando así, se supone que el C combinándose con dos átomos de

// Q desprende la misma cantidad con el 1<sup>o</sup> que con el 2<sup>o</sup> átomo.-

Solamente en la 1<sup>a</sup> reacción una parte del calor desprendido es empleado en la vaporización del carbono.- Es este calor que se determina por la substracción al calor de combustión del Q sólido, el Q supuesto gaseoso en el C O:-

así: 1 kgr. de C + 1 Kgr.333 de O = K. 2,333 de C O.-

Durante esta reacción, se desprende partiendo del Q diamante, 2405 C.-

Los kgr.2,3330 de C O se transforman en C O<sub>2</sub> por una nueva combinación y desprenden:-

$$K. 2,333 \times 2435 = 5680$$

Entonces:- 1 kgr. de C. pasando de C O á C O<sub>2</sub>, desprende 5680 calorías.- También:- 1 kgr. de carbono puro transformado en C O, desprende 2405 C.-

La diferencia entonces: 5680 - 2405 = 3275 C representará precisamente el " calor de vaporización " del carbono-diamante.-

Partiendo del carbono del carbón de madera se obtiene - - -  
5680 - 2489 = 3191 C.- En cuanto al calor de combustión del carbono al "estado de vapor", se compone de su calor de vaporización, más el calor de combustión del Q sólido.- Es para el carbono-diamante de 7859 + 3275 = 11.134 C y para el carbón de madera de 8137 + 3191 = 11.328 C.-

### Análisis de los gases y de los humos

Los análisis de gases necesario al estudio de la combustión, son de dos clases:- uno tiene por objeto el control de los humos y la veri-

//ficación del exceso de aire, no se hacen, en general, sino sobre el ácido carbónico y el oxígeno;- los otros son análisis de los gases combustibles en el caso de que la combustión se haga en dos tiempos, (en los hornos de gas, por ejemplo).-

#### Dosaje del humo

-o-

El dosaje del humo puede estrictamente reducirse a la determinación del  $\text{CO}_2$ , porque para un combustible dado, las proporciones del N,  $\text{CO}_2$  y de O están ligadas por una relación, cuando se conoce la composición del combustible y en particular la relación del carbono al hidrógeno.-

En los humos, el carbono, la relación del N al total de  $\text{CO}_2 + \text{O}$ , es la misma que en el aire atmosférico, pues el volumen de  $\text{CO}_2$  es el mismo que el del O, que ha servido a su formación.-

#### Métodos de dosajes de los humos - (aparatos registradores

La posibilidad de analizar los humos no dosando sino el  $\text{CO}_2$ , ha permitido la construcción de aparatos registradores basados sobre la absorción de los gases por la  $\text{K}(\text{OH})$ .-

El aparato registrador Ados, muy usado en casi todas las Usinas, hace muy prácticos estos aparatos, pues representa y reproduce en gráficos los dosajes del  $\text{CO}_2$ .-

Principio del aparato:- el gas es extraído de la chimenea por una bomba a doble efecto accionada por el tiraje de la chimenea.-

Un volumen invariable de 100 cc. atraviesa un frasco absorbente conteniendo una solución concentrada de  $\text{K}(\text{OH})$ .- De ahí el gas

//que queda después de la absorción del  $C O_2$ , es enviado a un medidor.-  
Una línea de longitud proporcional a este volúmen, lo mide con un trazo automático hecho sobre un rodillo registrador.-

El aparato está llenado con glicerina;- el es mudo de un filtro de gas, que retiene las partículas y el alquitrán, cuando se utiliza para analizar gas que los contenga.-

Se regula en general de manera a hacer una "toma de muestra" cada cuatro minutos, pero este período puede modificarse a voluntad.-

Requiere este aparato el control diario de su exactitud para que tengan valor los datos obtenidos.-

El control lo hemos hecho tomando muestra en varios momentos, llevándola al aparato Orsat, y dosando allí el  $C O_2$  -  $C O$  y  $O$ , y constatábamos que el Ados funcionaba correctamente.-

Y en otros casos lo hemos hecho con la bureta de Bunte.-

El empleo de aparatos registradores para un control como el exceso de aire, es utilísimo en principio.-

#### Registadores densimétricos

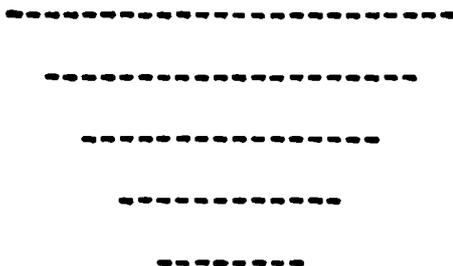
La densidad del  $C O_2$  (peso del litro: 1,967 miligramos) difiere mucho del del aire (peso del litro: 1,294 miligramos), para que se haya podido deducir la medida de la densidad de los gases de combustión, y determinar su tenor en  $C O_2$ .-

Muchos otros aparatos han sido construidos con el objeto

//de indicar de manera continua, la densidad del gas llevado por una derivación de la chimenea.-

La mayor parte se componen esencialmente de una balanza muy sensible, soportando en cada extremidad de los brazos del fiel, recipientes muy voluminosos.-

En ciertos aparatos, estos dos recipientes sumergen en la atmósfera del gas a comparar;- en otros el gas llega al interior de uno de los recipientes.-



- IV -

//

RENDIMIENTO TÉRMICO

Y PÉRDIDAS TÉRMICAS - ( Evitables y no evitables )

-0-

No confundimos el rendimiento térmico con el rendimiento mecánico, o sea la cantidad de " energía mecánica " que se puede extraer del combustible.- Por rendimiento térmico entendemos " la cantidad de calor utilizado " por la caldera, con relación a la cantidad desprendida por el hogar.-

El rendimiento-térmico depende de dos cosas muy distintas: 1ª) de una buena combustión para desprender el máximo de calorías a partir de un peso dado de combustible;- 2ª) de una buena utilización, de manera a recoger bajo forma de calor en el vapor, las más posibles de las calorías libertadas por la combustión en el hogar.- La buena combustión depende de una cantidad de factores, los más importantes son, como ya dijimos:- la naturaleza y el estado de división del combustible, y sobre todo el regular convenientemente la cantidad del aire.- La buena utilización dependerá del tipo de caldera y sobre todo del grado de intensidad de la circulación del agua en el interior, y del libre desprendimiento del vapor producido.-

Rendimiento térmico- A priori, el empleo del vapor como medio de producción de fuerza-motriz partiendo del combustible, es un medio muy defectuoso.- Es muy sabido que la cantidad de energía recogida sobre el árbol de una máquina a vapor, no representa sino el

// 10 á 12 % de la cantidad de energía-latente almacenada bajo forma térmica en el combustible.-

Pero la falta no es debida a la caldera, cuyo rendimiento puede ser llevado hasta el 75 - 80 %, sino al modo de transformación de la energía térmica, en energía mecánica, que se ha empleado.-

La termodinámica tiene una ley, "el ciclo de Carnot", cuyo enunciado puede ser así:- " el rendimiento de una máquina, transformando la energía calorífica en energía mecánica, es tanto más elevada cuanto la diferencia de temperatura del fluido motor, a la entrada y a la salida de la máquina, es más considerable ";- ella permite explicar porque el empleo del vapor no da sino un rendimiento débil.-

En la máquina a vapor, en efecto, la diferencia de temperatura, representada por la diferencia entre la temperatura del vapor a la admisión y el condensador, es muy débil a lo más 200 ° - o la temperatura desprendida por la combustión es muy elevada; ha habido pues descenso desde esta temperatura de combustión hasta la temperatura del vapor a la admisión, descenso considerable que se acompaña sin producción de trabajo mecánico.- Así se explica porque la máquina a vapor no es un perfecto agente de transformación de la energía, y su rendimiento es algo inferior.-

En cambio, en los motores de combustión interna -motores a gas- el rendimiento es más elevado que el de la máquina a vapor, debido precisamente a que la combustión se efectúa en el interior mismo de la máquina, el descenso de temperatura utilizable es mucho más considerable.-

// La medida efectiva del rendimiento térmico de un generador se obtiene en los ensayos de vaporización por la relación de la cantidad de calorías contenidas en el combustible introducido en el hogar.-

Generalmente, los ensayos de vaporización, por simplificados que sean, son de alguna duración ( 8 á 10 horas, por lo menos ) y no se hacen sino a intervalos más o menos espaciados con otro objeto que el simple estudio del rendimiento.- Pero dada la importancia del factor rendimiento, se han simplificado los procedimientos;- el primero consiste en asimilar el generador a una máquina térmica y aplicarle la expresión del rendimiento, según el ciclo de Carnot.-

Llamando  $T_1$  la temperatura absoluta (  $t^{\circ} - 273$  ) del hogar.  $T_2$  la temperatura absoluta de los gases en la chimenea,  $T_3$  la temperatura absoluta del aire llegando al hágar, se tendrá para expresar la proporción en centésimos del calor utilizado:- ( haciendo abstracción de las pérdidas caloríficas por radiación del macizo de mampostería, como del calor substraído por los escarbillos y "maquefer" cayendo en el cenicero ) - estas pérdidas son relativamente débiles, pero se podrá, si se desea tener en cuenta, reemplazando el factor 100 de la fórmula, por un factor menor, 95, por ejemplo, el valor de la corrección es aproximadamente de 5 %:-

$$R = 100 \times \frac{T_1 - T_2}{T_1 - T_3}$$

ahora prácticamente, si no se recalienta el aire en un aparato especial, se podrá prescindir de la temperatura de éste y medir simplimen-

// te por medio de pirómetros registradores, la temperatura del hogar y la de los gases en la chimenea.-

Esta generalización del ciclo de Carnot a las calderas, es incorrecto, -según Izart, -la vaporización es esencialmente un intercambio de calor, y nó una transformación termodinámica;- los resultados son obtenidos, con todo, dan una aproximación suficiente para que podamos emplear este procedimiento en las necesidades corrientes de la práctica industrial (Izart).-

Por ejemplo:- supongamos que hemos encontrado 1100° como temperatura del hogar - 400° la temperatura en el registro - si la temperatura del aire al nivel de la parrilla en la sala de calderas, es de 17°, el % de calor utilizado para la producción del vapor, será:-

$$100 \frac{(1100 + 273) - 673}{(1100 + 273) - 290} = 64 \%$$

El rendimiento térmico de la caldera será 64 %.-

Ahora para aumentar el rendimiento en la fórmula del ciclo de Carnot, hay indicadas implícitamente tres condiciones para elevar al máximo su valor:-

1ª) Aumentar la temperatura del hogar (  $T_1$  ), o hacer esta temperatura lo más elevada posible.-

2ª) Disminuir todo lo posible la temperatura de los gases (  $T_2$  ), en el momento que son evacuados por la chimenea (economizadores).-

3ª) Hacer la temperatura (  $T_3$  ) del aire que alimenta el hogar, lo más elevada posible.-

Y es evidente que cuanto menos elevada sea la temperatura

//de los gases, mayor será la economía del combustible realizada, elevando la temperatura del hogar.-

### Las pérdidas de calor, evitables y no evitables

Para aminorar las pérdidas de calor, y aumentar por lo mismo el rendimiento, será menester especificar las causas de las pérdidas, cualitativa y cuantitativamente.-

ante todo debemos considerar las pérdidas evitables que podríamos clasificar en tres grupos (Isart) :- a) las debidas al combustible;- b) las debidas al comburente;- y c) las pérdidas térmicas propiamente dichas.-

a) Las debidas al combustible:- humedad exajerada en él;- cenizas que tapan las parrillas;- formación de escarbillos y "maquers";- hollín, que se evita con la temperatura elevada del hogar;- conducción del fuego, si es necesario se reemplaza el foguista por un cargador mecánico.-

b) Las debidas al comburente:- 1) exceso de aire o insuficiencia de aire;- esto se evita regulando el registro segun las indicaciones de un dosador de aire o con el empleo de reguladores automáticos de tiraje;- 2) enfriamiento del hogar por el aire:- se evita con el cierre automático del registro durante la carga o con el empleo de hogares mecánicos - calentamiento del aire por las calorías perdidas;- 3) el ázoe, como ya lo hemos dicho y calculado anteriormente.-

c) Pérdidas térmicas propiamente dichas:- 1) de calor latente por combustión incompleta del carbono y de los hidrocarburos - el

//humo negro.- Estas pérdidas se aminoran con el hogar mecánico, con la temperatura elevada del hogar, de este modo la combustión es total y con el revestimiento refractario del hogar, se disminuye así considerablemente la pérdida por radiación en el hogar.-

2) de calor sensible:- por radiación del macizo de la caldera, - calor aportado por los "maquefer" al romperlos, este es el inconveniente de todos los combustibles que tienen cenizas fusibles a temperatura baja, - humedad en los gases de la combustión y, por último, calorías substraídas por los gases de la combustión, que se evita con calderas de gran circuito de gases y circulación intensiva del agua y con aparatos economizadores y sobre-calentadores para recalentar el agua, el aire o el vapor.-

En general, sobre 100 calorías producidas en el hogar, 60 solamente se encuentran en el vapor producido;- la pérdida más considerable es la del "calor sensible" en los gases de la chimenea (Isart).-

Si se considera que las pérdidas accesorias quedan constantes, cualquiera que sea el generador, mientras que la pérdida de calor arrastrada por los gases varía en proporciones considerables, según la altura del fuego, la posición del registro y la intensidad de la vaporización.-

La pérdida del calor sensible arrastrada por la chimenea se avalúa:- tomando la temperatura de los gases en la chimenea por medio de aparatos registradores, y por otra parte también el tenor medio de  $\text{CO}_2$  de los humos, sea por medio de un aparato analizador automático por ejemplo, o sea por medio de un muestreo automático y con

//este motivo se hacen diagramas de la temperatura en la chimenea;- y un medio de evaluar la cantidad de aire introducido en el hogar, ya sea por el análisis químico sobre todos los gases:  $C O_2$  -  $C O$  y  $O$ , que nos darían la pauta de la combustión y sea por medios físicos como los dosadores de aire, etc.-

### OTRAS PÉRDIDAS

#### Radiación y Conductibilidad

En la mayor parte de los casos, la radiación de calor no es recuperable, pues el enfriamiento, que es su consecuencia, es necesario para la conservación de las paredes.-

Esto ocurre, por ejemplo, en los hornos Siemens, donde la buena marcha de la bóveda está asegurada por el enfriamiento de la pared exterior de los ladrillos del macizo;- de ahí también la generalización del empleo de ladrillos de sílice refractaria, que no son más refractarios que los ladrillos de alúmina, y es debido a la conductibilidad mayor de la sílice que favorece algo la transmisión del calor la igualdad del calentamiento para la bóveda y el enfriamiento necesario.- Hay casos en que el enfriamiento se hace necesario pues además de combatir la temperatura, se opone a la corrosión de las paredes, por el baño de materia fundida que haya en la cubeta del laboratorio u hogar.-

En general la pérdida de calor por radiación es necesaria para la conservación de los obrajes y macizos, y es poco menos que imposible evitarlo;- Carnot la deduce: -"como una función necesaria del

// "calor utilizado en el hogar o laboratorio, y que para un balance térmico, todo el calor dispensado en el laboratorio u hogar puede ser considerado como calor utilizado".-

Aunque en los modernos motores a explosión parece que esta pérdida está disminuida considerablemente.-

La medida de la pérdida por radiación y conductibilidad, no es posible hacerla aplicando la ley del enfriamiento de Newton, porque los poderes emisivos y la conductibilidad de los materiales que constituyen los hogares y hornos, es muy irregular.- Hay métodos empíricos y el método por diferencia.-

Así al hacer un balance térmico, se calcula el calor necesario para la operación industrial a efectuar y la diferencia entre el calor producido y el consumido, nos daría en globo la radiación, restándole la pérdida por conductibilidad de los herrajes.-

También se puede, para el caso de hornos, hacer una prueba en blanco durante un cierto tiempo, y hacer el balance térmico para esta marcha, cuyo trabajo de laboratorio es cero.-

b) Calor substraído por el humo.-

Esta pérdida de calor es una de las más importantes y esta es muy difícil de evitar.-

Si se hace abstracción de la cantidad de calor necesaria para el tiraje, que es muy poco, -pues 200<sup>2</sup> bastan, -en el peor de los casos- las calorías del humo se pierden irremediabilmente en la atmós-

// fera, y tanto mayor, cuanto mayor sea la temperatura en el hogar u horno.-

Para atenuar esta pérdida y aprovechar el calor correspondiente, se han ideado los recalentadores y los economizadores, etc.- A los recuperadores de calor le han dedicado sus afanes, gran número de estudiosos y es el complemento de la ciencia en la utilización del calor.-

---

La pérdida de calor resultante de que los gases calientes salen de la caldera con la temperatura  $T$ , más elevada que la temperatura  $t$  del aire exterior, se calcula según la cantidad de los elementos de este gas, su calor específico y la diferencia  $(T-t)$ . (La Hütte).

c) La pérdida de calor proveniente del combustible nó quemado (escarbillos) que se encuentra en los residuos del hogar (escorias, cenizas), se determina así:-

Al fin de la experiencia, se toma el peso de los residuos secos de la combustión, y se establece según una muestra media, la proporción de partes nó quemadas contenidas en ese residuo.- Se tiene en cuenta también, en el cálculo, la parte combustible del residuo, considerándola como C, con un poder calorífico de 8100 Cal. por Kgr. (para los carbones).-

La pérdida de calor resultante de que las escorias son evacuadas aún calientes, de la cámara de combustión, es mínima y de poca importancia (La Hütte).-

Con un hogar que "humea" (fumivora), una pérdida de calor

// puede provenir de los gases no quemados y del hollín;- si es necesario determinar esta pérdida, es menester buscar, por procedimientos conocidos, la proporción de partes no quemadas, y tenerla en cuenta para los cálculos.-

Control de calefacción:- Será necesario para el control de calefacción el uso de aparatos sensibles e industriales.- Se puede hacer con los aparatos registradores respectivos: en el laboratorio los ensayos respectivos, que abonen la calidad del combustible; pirómetros registradores para seguir el proceso térmico de la combustión que se efectúa en el hogar - las pesadas del combustible para estimar el consumo, así como también medir el agua consumida, por kilogramo de agua vaporizada.-

Para las pérdidas térmicas latentes:- se hace indispensable el análisis periódico durante cada vaporización de los gases que emite el hogar, sabiendo por lo mismo el estado oxidante o reductor de dichos gases - y la densidad del humo.- Y para las pérdidas en calor sensible el ensayo en el laboratorio sobre muestras periódicas de los gases y la medida constante de la temperatura en la chimenea.-

---

Pero la manera más exacta de controlar una calefacción consiste en hacer numerosos ensayos de vaporización.- Aunque el ensayo de vaporización sea una operación relativamente fácil de practicar, no se puede pensar en él como un medio de control permanente.-

El "ensayo de vaporización" será además de una verificación de la caldera, un ensayo para los combustibles y su selección (según

// todos los autores consultados) mucho más riguroso que un ensayo calorimétrico;- sabemos que es muy frecuente en un combustible presentar un alto poder calorífico absoluto, y dar una vaporización inferior a otro, que posee un poder calorífico absoluto inferior a él.-

Por el "ensayo de vaporización" de los combustibles en las calderas, tendríamos el criterio más efectivo.-

Para el control diario será suficiente analizar las diferentes pérdidas térmicas que debilitan el rendimiento global de la caldera.-

Las pérdidas térmicas son muy numerosas como ya dijimos, pero dos solamente son de verificar por ser las más importantes, - a saber:-

1ª) pérdidas por combustión incompleta (los gases de la chimenea encierran  $C O$  ).-

2ª) las pérdidas en "calor sensible" arrastradas por los gases que se escapan por la chimenea.-

Estas pérdidas se controlan midiendo, por una parte, la temperatura de salida de los gases, y por otra parte, analizando los gases, lo que permite calcular exactamente, la cantidad de aire que ha sido empleada para quemar el combustible en el hogar y, por consiguiente, proporcionar esta cantidad de aire de manera que él no esté ni en exceso, que ocasionaría pérdidas exageradas -como ya hemos visto- para calentar el exceso de aire inútil; ni insuficiente, que ocasionaría pérdida por combustión incompleta.-

//

El agua de alimentación de las calderas

Será necesario emplear el agua de alimentación previamente depurada, sin que la transmisión del calor a través de las superficies de intercambio, sea rápidamente reducida a poca cosa, y es muy sabido la importancia capital que tienen las impurezas del agua sobre la vaporización.-

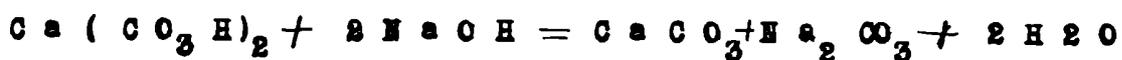
Es necesario determinar previamente por el análisis químico: la calidad y la cantidad de impurezas.-

Sabemos de las aguas puras con muchas sales terrosas en solución (  $3Ca, CaSO_4, MgSO_4$  ) que estando en solución, debida a su pequeña solubilidad y al mismo tiempo al  $CO_2$  que haya en suspensión, transformadas al estado de  $Ca(CO_3H)_2$ , se disuelve más fácilmente.-

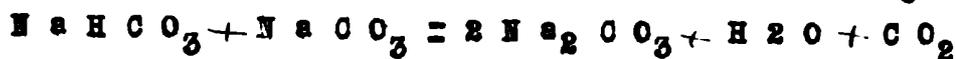
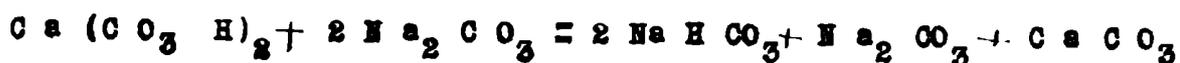
Pero sabemos que esta agua al estado de ebullición, pierde su  $CO_2$  el  $Ca(CO_3H)_2$ , y transformada al estado de  $CaCO_3$  es menos soluble y precipitada, acumulándose en las paredes de las calderas, formando así incrustaciones sobre la misma y los tubos, que dificultan la transmisión del calor por su escasa conductibilidad y ocupar la pared de contacto de la caldera, y pueden ocasionar explosiones, provocadas por el sobrecalentamiento del agua y la expansión del vapor que se precipita sobre la pared de la caldera, después de romperse la incrustación, y como la diferencia de las temperaturas es muy grande; pues la pared de la caldera está aislada -y por lo mismo con todo el calor transmitido por el hogar- en estas condiciones el

//agua y el vapor, al ponerse en su contacto quedan al principio al estado esferoidal, y después del contacto se proyectan con una expansión tan brusca, que provoca la explosión.-

Pero teniendo que usar "agua incrustante" tendríamos que corregirla, que "desincrustarla" previamente, valiéndonos para ello de sustancias que absorbiendo el  $\text{CO}_2$  del  $\text{Ca}(\text{CO}_3\text{H})_2$  la transformara en  $\text{CaCO}_3$ , vale decir insoluble, y entonces p.p. en el agua y una filtración es suficiente para separarlo:- estas sustancias son, por ejemplo, el  $\text{NaOH} - \text{CO}_3\text{Na}_2$  -



el  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  descompone los bicarbonatos de calcio y de magnesio, formando bicarbonatos de sodio que a la temperatura de la caldera, se disocia en  $\text{CO}_2$  y  $\text{Na}_2\text{CO}_3$



Los  $\text{CaSO}_4$  y  $\text{MgSO}_4$  que producen tambien incrustaciones peligrosas, son igualmente transformados en carbonatos que se depositan en



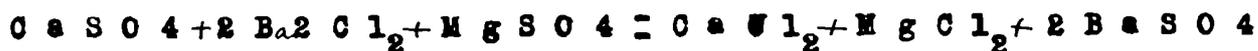
Tambien el  $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{O}_4$  produce un efecto análogo al de la  $\text{NaOH}$ ;- el  $\text{Al}$  se precipita en copos ligeros que clarifican el agua:-



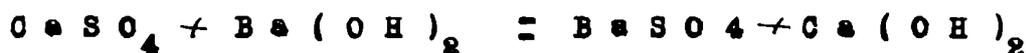
// El  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  transforma el  $\text{CaCO}_3$  en sílice gelatinosa =  
 $\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{Ca}(\text{CO}_3\text{H})_2 = \text{CaSiO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{CO}_3$   
 y también actúa sobre los sulfatos de  $\text{Ca}$  y de  $\text{Mg}$ .-



El  $\text{Cl}_2\text{Ba}$  precipita los sulfatos, pero mientras que el  $\text{BaSO}_4$  así formado, no tiene propiedad incrustante, el  $\text{MgCl}_2$  es en cambio nocivo.-



Es ventajoso reemplazar el  $\text{BaCl}_2$  por  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  aunque este reactivo sea muy costoso;- habría precipitado de carbonatos y sulfatos.-

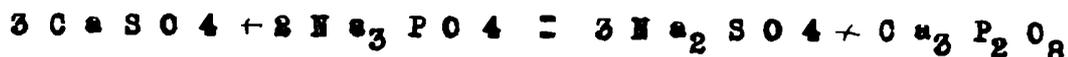


También  $\text{FNa}$  agregado al agua de alimentación de calderas conteniendo  $\text{CaH}_2(\text{CO}_3)_2$  disminuye la dureza:-



el  $\text{CaF}_2$  se precipita, y no es soluble sino en 26.000 veces su peso de agua, el doble que el  $\text{CaCO}_3$ .-

El  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  actúa también, el agua es "ablandada" y clarificada:-



Se emplean también sales amoniacales:- hay entonces doble descomposición entre las sales de calcio y el aumento de la solubilidad.-

// Se suelen usar tambien las limaduras metálicas de hierro y de cinc, su acción sería:- a la temperatura elevada de las calderas, y bajo la acción del  $C O_2$  disuelto en el agua, el metal se oxida descomponiendo el agua;- hay precipitación de los bicarbonatos por el óxido formado.-

El azúcar forma, un sucrato monocalcico soluble, desdoblándose por el calor en mezcla de sucratos más o menos solubles;- se emplea bajo forma de melaza.-

Tambien se usa el tanino, empleado bajo forma de virutas de maderas o de extractos acuosos;- la cal y la magnesia son precipitados como tanatos, y las materias colorantes forman laeas insolubles pero el tanino ataca los tubos de las calderas.- Lo mismo ocurre con el  $H_2 S_2 O_3$  que actuaría como disolvente del  $C a S O_4$ .-

Por otra parte; hay un gran número de desincrustantes mecánicos sin acción química:- la arcilla, arena, talco, vidrio en polvo, fécula, las grasas, resinas, etc., que dividen los precipitados e impiden la adherencia a las tubuladuras.-

Tienen el inconveniente de ser arrastradas por el vapor y de deteriorar los cilindros y órganos metálicos de las máquinas los primeros, y de emulsionar el agua los últimos.-

La gran mayoría de desincrustantes están constituidos a base de las reacciones que acabamos de enumerar, según H.de la Coux.-

El inconveniente y peligro de la incrustación, es cada vez más previsto y evitado, en las instalaciones mecánicas bien hechas, el agua de alimentación de las calderas, es el agua de condensación



// recta, determinándolo por diferencia, pues las otras pérdidas es posible medirlas con exactitud.-

Si se quisiera hacer una contabilidad térmica exacta, hace: una contabilidad por partida doble digamos, de las calorías utilizadas y pérdidas, será necesario además de los análisis de gases producidos y las medidas de la temperatura, hacer medidas exactas de las consumaciones de combustibles y de agua que permitirá controlar por cálculo sintético el análisis de gases.-

De lo expuesto hasta ahora deduciríamos la necesidad de los siguientes datos experimentales para un balance térmico simple:-

a) Composición del combustible - análisis orgánico elemental y poder calorífico absoluto - peso de los escarbillos.- La importancia de conocer la composición química centesimal del combustible salta a la vista:- pues conociéndose el calor de combustión de los distintos elementos químicos, podemos obtener el número total de calorías que debería producir el combustible, quemándose perfectamente.-

La importancia también del peso de los escarbillos es grande, pues no siendo completa generalmente la combustión: forma escarbillos;- el carbono formando parte con las cenizas y la humedad de la composición de los escarbillos, escapa a la combustión y debe ser sustraído del combustible total.- Esto se hará muy fácilmente pesando durante un tiempo suficientemente largo, el combustible quemado, los escarbillos producidos, y analizando estos últimos.-

Y el poder calorífico absoluto nos dará el número de calo-

// rías que produce el combustible quemándose en una atmósfera de oxígeno puro y a presión de 20 á 30 atmósferas, por ejemplo en la bomba de Kröcker, a presión constante y volumen constante, con condensación del agua producida.-

En cambio en la combustión industrial sabemos que no ocurre así.-

La corrección para la combustión a diferente presión, tiene importancia y se produce sobre todo en los combustibles muy hidrogenados como los combustibles líquidos y los gases ricos en hidrocarburos, como el gas de alumbrado.- El "poder calorífico industrial" a presión constante, es inferior, como es lógico, al calor de combustión medida con la bomba calorimétrica.-

La corrección de la no condensación del vapor de agua en la combustión, ya es más importante;- la trataremos al estudiar y comparar los métodos para hallar los poderes caloríficos.-

b) Análisis de gases en el hogar y en el humo.-

El del hogar nos daría el proceso de la combustión y el análisis de los gases del humo, nos daría el estado y marcha total de la combustión.-

c) Medidas de temperatura-nos daría otro dato muy importante y que nos sirve para controlar lo recuperado y saber las pérdidas.-

## ELECCION DEL COMBUSTIBLE

Para resolver el problema de la elección del combustible, hay que preguntarse, cual es el mejor combustible ?.- Es indudable que no será el más barato, el costo no es el único factor a considerar en estos casos.-

El mejor combustible será el más económico que no es precisamente el más barato.-

Izart lo define así: "el combustible más económico será aquel, "que en las condiciones particulares al caso considerado, permita obtener "el precio mínimo por 1.000 calorías utilizadas (no, las simplemente desprendidas).-"

O sea, hay que calcular para las usinas, quanto cuesta la tonelada de vapor

Para ello actúan tres factores esenciales:

- 1º el costo efectivo del combustible, hasta la caldera.
- 2º el poder calorífico absoluto del mismo.
- 3º el grado de utilización de este poder calorífico.-

De estos tres factores, los más importantes serán los dos últimos en tiempo normales y más particularmente el último factor.-

Y el grado de utilización, depende del tipo de caldera que es un dato muy apreciable, pues es prácticamente invariable, salvo una reforma radical modificando fundamentalmente el tipo de caldera.- También tiene mucha importancia para lo mismo: el foguista en su modo de conducir la combustión.†

El poder calorífico de los combustibles ( que es función del carbón fijo del mismo ) sabemos que tiene mucha diferencia, el tenor en cenizas (que lo disminuye) y la cantidad de materia volátiles (que lo su-

//menta) hasta cierto límite.-

Y en hullas sabemos que 1 % de cenizas baja de 90 calorías 1 % de materias volátiles lo aumenta en 60 calorías.-

Y como las materias volátiles no es posible poderlas quemar en el hogar sino en forma muy deficiente, es preferible un combustible que tenga el máximo de poder calorífico con el mínimo de materias volátiles.-

Ha ser posible, convendría poder utilizar y por lo mismo quemar, en los hogares, todas las materias bituminosas volátiles; aumentaría considerablemente el poder calorífico práctico, pues en los hogares de las buenas calderas actuales (Babcock - Stein Müller - Belleville) no es posible quemarlas.- Sería necesario idear el modo de poderlas quemar, ya fuera haciendo el coke del combustible primero y proyectando las materias volátiles sobre la combustión del hogar previamente, y después el mismo coke.- Así se quema en este año de medidas emergentes, la leña en muchas partes; o pulverizando el combustible y quemándolo en polvo o en briquetas, de este último modo se desprenderían las materias volátiles en el mismo seno del fuego, y sería posible quemarlas en su mayor parte, y después el coke a continuación.-

Nuestro combustible Argentino Rafaelita que es una Albertita que tiene alrededor de 10.000 calorías absolutas (bomba de Kröcker) podría ser utilizada <sup>así</sup> como excelente combustible.- Y en el peor de los casos usarlo en briquetas que se coqueficaría previamente y a los gases darle un aprovechamiento útil.-

Al que estas líneas suscribe no le fué posible ensayarlo en alguna buena caldera, debido riesgo que se hubiera incurrido, pues en las calderas es muy probable que las materias volátiles ataquen

///

//las tubuladuras.-

El uso de combustibles en briquetas y pulverizado, que se proyecta sobre el fuego, parece ser muy práctico y disminuye en buena parte la cantidad del combustible que no quema.- He tenido oportunidad de constatarlo en la usina Dock Sud de la C.A.T.E. donde hice las experiencias industriales para el presente trabajo.-

#### CALOR DE COMBUSTION O PODER CALORIFICO DE LOS COMBUSTIBLES INDUSTRIALES

Los combustibles industriales se presentan bajo forma gaseosa, líquido o sólido.- En el primer caso, el poder calorífico es dado generalmente con una exactitud completa, por sólo el análisis de gas: el gas del gasógeno no contiene sino  $C O - H - C H_4$  y la proporción de carburos de la serie etilénica es tan débil que se puede con exactitud asimilar todos estos carburos al etilene.- El poder calorífico es entonces la suma de los poderes caloríficos de los elementos combustibles, y el poder calorífico al metro cúbico es el cociente de esta cifra por 2.232.-

En el caso de los combustibles líquidos, sabemos que el análisis químico permite fijar el poder calorífico: el título de una bencina, el grado de un alcohol y el análisis de un petróleo permiten por medio de los calores de combustión de los compuestos químicos dados por las tablas de termo-química, calcular el calor total disponible de un combustible.- Aun es menester tener en cuenta el hecho que las tablas dan a menudo el calor de combustión a volumen constante, y no a presión constante, y no se indica si el agua es condensada o no.- También es en general preferible recurrir a la bomba de calorimétrica para determinar exactamente el poder calorífico absoluto.-

En lo que concierne a los combustibles sólidos existen al-

//gunas leyes empíricas (ley de Dulong, ley de Goutal, Raeppe, ley de Mahler, Berthier) permitiendo calcular el poder calorífico en función del análisis químico o simplemente tomando por punto de partida el análisis inmediato: cenizas - carbón fijo - materias volátiles.- Las primeras presentan bajo el punto de vista de su aplicación industrial, un inconveniente; el de exigir el dosaje del carbono, hidrógeno y del ázoe, es decir el análisis orgánico elemental completo.- Los segundos mucho más cómodos se apoyan sobre los datos fáciles de obtener, el carbón fijo y las materias volátiles resultando de ensayos ordinarios efectuados sobre todos los combustibles.-

La determinación del poder calorífico por medio del obús de Mahler da, sabemos, después de todas sus correcciones de análisis, un número de calorías representando el calor desprendido por una combustión a volumen constante y condensando el agua: es "más o menos" la energía calorífica que podría ser realmente utilizada.-

Es pues necesario hacer una doble corrección.- Estas correcciones se hacen por dos formas derivadas del principio de la conservación de la energía.-

Tomamos del curso (L) estas dos fórmulas:

1<sup>o</sup> Corrección para combustión a presión constante:

El principio de la conservación de la energía permite calcular el calor de combustión a presión constante por medio del calor de combustión a volumen constante, determinado por el obús calorimétrico, conduciéndonos a la fórmula:

$$L = Q + 0.54 n.$$

donde Q representa el número de calorías medidas y calculadas por la

(1) Introd. à l'étude de la Metallurgie, pag.57 de H.Le Chatelier.-

//experiencia calorimétrica, es decir, a volúmen constante;  $L$  representa el poder calorífico buscado a presión constante y  $n$  el número de volúmenes moleculares cuya mezcla ha disminuído, el agua se ha supuesto al estado líquido.-

Ejemplos de resultados de este cálculo para algunos combustibles (Carnot)

Cuerpo quemado en moléculas	Contracción	CALOR DE COMBUSTION	
		a volúmen cons- tante	a presión cons- tante
H 2	1.5 vol.mol.	68.15	68.96
C O	0.5 "	67.93	68.20
C H <sub>4</sub>	2 -	212.40	213.48
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	1.5	308.25	309.06

Se ve que la diferencia entre los dos calores de combustión es muy débil.- Ella es nula para el carbono quemado como ácido carbónico, pues que en este caso, no hay contracción; ella es fuerte para el hidrógeno, sin pasar de 1 p.100.-

Cuando se trata de combustibles naturales no hay que tener en cuenta esta corrección, para los combustibles carbonizados, carbón de madera o coque; tampoco hay que preocuparse por la hulla que es relativamente poco hidrogenada.- En cuanto a los combustibles líquidos y a los gases ricos en hidrocarburos como el gas de alumbrado o el gas de horno a coque, se puede contar que el "poder calorífico industrial", a presión constante, es superior de 0.3 a 0.5 p.100 al calor de combustión medido por el calorímetro.-

//2º. Corrección resultante de la nó condensación del agua en las combustiones industriales:

La corrección resultante del agua que queda al estado de vapor en los humos del horno (mientras que ella se condensa en el calorímetro), es mucho más importante.- Se puede hacer el cálculo por una aplicación del principio del estado inicial y del estado final o de un corolario de este principio cuyo enunciado es: s/Berthelot:

"Los calores de combustión de los compuestos hidrogenados varían, según que el agua quede al estado líquido o al estado gaseoso; de una cantidad de calor igual al producto del número de moléculas de agua resultante de la combustión, por el calor latente de vaporización del agua a la temperatura corresp.a la medida del calorímetro del poder calorífico.-"

El calor de vaporización del agua relacionada al kilogramo a una temperatura  $t$ , es según la fórmula de Regnault:

$$L_t = 606.5 - 0.695 t.$$

a 15º, temperatura normal de las medidas calorimétricas:

$$L_{15^\circ} = 606.5 - 0.695 \times 15 \text{ y relacionando a la molécula:}$$

$$L_{15^\circ} \text{ molecular} = 10.73 \text{ cal.}$$

de donde se deduce que el poder calorífico de un combustible, determinado por la bomba Mahler, deberá ser disminuída tantas veces 10.73C como moléculas de agua se hayan producido.-

Cálculo para los casos de los compuestos más usuales :



//

Gas sometido a la experiencia calorimétrica	Número de moléculas de agua	Poder calorífico medido	Correcciones	Poder calorífico verdadero: agua-vapor
H 2	1	68.96	- 10.73	= 58.23
C H 4	2	213.48	- 21.46	= 192.00
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	1	309.06	- 10.73	= 299.33

### 3<sup>o</sup> Consecuencias en el estudio de la combustión industriales:

De lo que precede resulta que es imposible avaluar la energía calorífica de un combustible, sin conocer su poder calorífico determinado por la bomba de Mahler, por una parte, y su composición centesimal elemental que sólo permite determinar la contracción o la dilatación a presión constante, y de contar las moléculas de agua condensada.-

Practicamente el análisis elemental dando C-H-O-N no es necesario, porque la 1<sup>a</sup> corrección tiene un valor que hemos encontrado insignificante, será suficiente conocer el tenor hidrógeno.-

Veamos los diversos casos de la industria si se trata de un combustible exclusivamente carbonado, las dos correcciones desaparecen; el poder calorífico medido por la bomba basta, con el dosaje del carbono.-

Si se trata de hullas, la doble corrección debida al hidrógeno es necesaria; pero cuando se conoce la naturaleza de la hulla, lo que es el caso más general, después de una simple verificación de las materias volátiles, dando la certidumbre que el combustible no ha cambiado, se conocerá el tenor en hidrógeno con mucha aproximación pa-

// ~~Se~~ hacer las correcciones sin recurrir al análisis elemental.-

Es suficiente para convencerse de consultar la tabla de los análisis de hulla de Mahler.- Cuando, en fin, se servirá de un combustible líquido, siempre muy hidrogenado, las dos características del combustible, poder calorífico y análisis, son necesarios.- Pero es suficiente en general hacerlos una vez por todas, o en intervalos muy espaciados, en razón de la constancia de calidad; en las clases de petróleo refinado, p.ej.-

En todos los casos, cualquiera que sea el combustible, cualquiera que sea la operación industrial a la cual se le destine, el carbono debe ser dosado exactamente, porque sirve de común medida entre el gas o humos de un horno y el combustible que lo ha engendrado.- Ejemplos: (D'Amour)

Calor de combustión de un petróleo de Bakú; ejemplo de determ.y de cálculo.-

Este petróleo que n/encontramos en un calentamiento de caldera marina alimentada a petróleo, dió en la bomba Mahler, la cifra observada directamente, y calculada según las fórmulas de Mahler = 10.805 C.

El análisis elemental dá:

$$C = 87 \text{ p.100}$$

$$H 2 = 13 \text{ p.100}$$

quememos 1000 grs. de este combustible, liquide este peso expresado en moléculas

$$C = \frac{870}{12} = 72.5 \text{ moléc. } H 2 = \frac{130}{2} = 65 \text{ moléc.}$$

hagamos la corrección relativa a la presión constante:

$$L = Q + 0.54 n$$

///

$$x_1 = 10.805 + 0.54 \times 65 = 10.840 \text{ cal.}$$

hagamos la corrección relativa a la no condensación del agua:

$$x_2 = 10.840 - \frac{65 \times 10.73}{697.4} = 10.143$$

El valor de la energía calorífica disponible industrialmente es pues solamente 10.143 en lugar de 10.850 encontrada en el calorímetro.- La primera corrección: (40 calorías) es insignificante; la segunda llega al 6.5 p. 100 del poder observado en la bomba.-

Y siendo el carbono una de las principales fuentes caloríficas, por medio del cual una parte del calor solar se ha acumulado durante siglos bajo forma de hulla, en la superficie de la tierra, será conveniente relacionar la caloría al calor latente del carbono, y por consiguiente del peso del carbono corresp. a la caloría.-

La unidad de peso del carbono, la "molécula-gramo" (12 grs) desprende quemándose en el oxígeno 97,6 C: la caloría corresponde pues  $\frac{12}{97.6} = 0,124$  gr. de carbono amorfo quemado en el aire a presión constante; se deduce aun que, para llevar un litro de agua a la ebullición (100°) sin vaporizarla, es menester teóricamente 12.4 gr. de carbono, o sea un poco más que una molécula.-

#### Poder radiante:

Poder radiante de un combustible, es la cantidad de calor emitida directamente en todo sentido durante toda la duración de la combustión completa de 1 Kgs. de este combustible.- Se hace abstracción del calor quitado por la circulación de los gases calientes.-

Esto no transporta el calor sino en un solo sentido, que es el del movimiento.-

//Una hulla grasa, dotada de un poder calorífico de 8.500 c.tendrá un poder radiante de 4.400 C.- Hna hulla de calidad media, correspondiendo a un poder calorífico de 7.500 calorías, dará 4.000 calorías de poder radiante.-

La energía calorífica desprendida por la oxidación de los combustibles, no es sino una manifestación de la energía química (energía térmica o calor sensible) y encierra dos grupos de conocimientos: los calores de combustión medurables con la bomba calorimétrica y los calores de calentamiento (Chaleurs d'echauffement) debido a Mallard y Le Chatelier.-

Se llama calor de combustión a presión constante de un cuerpo simple o de un compuesto químico definido; "el número de calorías desprendidas por la combinación con el oxígeno de un número de gramos de este cuerpo, igual a su peso moléc., el cuerpo combustible y el oxígeno son tomados a la temp. inicial de 15° (1).-

Estos pesos moleculares: (  $H_2 = 2$ ,  $C = 12$ ,  $CO = 28$  ) permiten también relacionar las combustiones a un mismo volumen de aire, encontrar inmediatamente este, que se podría llamar los equivalentes combustibles del cuerpo a quemar.-

La unidad molecular siendo aceptada, cuando las mezclas gaseosas son definidas por un análisis centesimal en volúmenes, es suficiente suponer que el volumen de gas analizado es 2232 litros para que las cifras del análisis expresen moléculas.-

(1) Se dice: calor de combustión, molecular, porque en los fenómenos de combustión una unidad de volumen es preferible a una unidad de peso, porque los productos de la combustión son siempre mezclas de gases cuya composición son dados en volúmenes, por el análisis químico.-  
2º. que las fórmulas químicas de combustión expresadas en volúmenes son siempre más simples numéricamente (ley GayLussac) que las mismas fórmulas traducidas en peso.-

///

//Cuando la composición de una mezcla se da en gramos es suficiente dividir por los pesos moleculares de los elementos para tener la composición en moléculas.- El carbono es generalmente expresado en Volumen en los gases, y en peso en los combustibles, servirá de unidad de medida entre los volúmenes y los pesos y permitirá establecer los balances térmicos con el mínimum de cálculo.-

Los calores de combustión más usuales usuales son:

( el agua supuesta al estado de vapor) (Carnot).-

Nombre del cuerpo quemado	Fórmula moléc.	Peso de la molécula 22.32 l. grs	Reacción de combustión	Caloríos despr a presión constante
Hidrógeno	H 2	2	$H_2 + O = H_2O$	58.2
Carbono	C	12	$C + O = CO$	29.4
"	C	12	$C + O_2 = CO_2$	97.6
Oxido de C	CO	28	$CO + O = CO_2$	68.2
Metano	CH 4	16	$CH_4 + 4O = CO_2 + 2H_2O$	195.2
Acetileno	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	26	$C_2H_2 + 5O = 2CO_2 + H_2O$	304.9
Etileno	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	28	$C_2H_4 + 6O = 2CO_2 + 2H_2O$	319.6
Azufre	S	32	$S + O_2 = SO_2$	69.2
"	S	32	$S + O_3 = SO_3$	91.8

Los calores de combustión, que acabamos de transcribir, sus valores numéricos, son a presión constante, y suponen, para el caso de los compuestos hidrogenados, que el agua queda al estado de vapor.-

//3º Que la molécula = 2 grs.H a 0º y 760 mm. (22.32 l) elegida de preferencia a todo otro volumen unitario, permite traducir inmediatamente los volúmenes relativos de los cuerpos gaseosos en presencia, en pesos absolutos, por medio de los pesos moleculares.-

// Son exactamente estas las condiciones de la práctica industrial:- todas las combustiones se hacen a la presión atmosférica o a una presión tan vecina que el "gasto" de energía elástica que puede resultar es insignificante; lo mismo el vapor de agua es siempre llevado por los humos sin condensar en los hogares (salvo en los aparatos de triple efecto ).-

Estas son las cifras que dan el "valor absoluto" de la energía disponible partiendo del aire y del combustible a 15° C.- Pero conviene observar que no son las cifras dadas directamente por la bomba calorimétrica en la cual la combustión se hace a volumen constante y donde el agua es condensada sobre las paredes de la bomba después de la combustión.- Estas cifras fueron el resultado de una doble corrección:- una positiva, para pasar de la combustión a volumen constante, a la combustión a presión constante.-

La otra negativa:- para tener en cuenta la vaporización del agua, que absorbe una gran cantidad de calor en el caso de combustibles muy hidrocarbureados.-

Combustión en el aire atmosférico.- Una sola de las condiciones de la práctica no es tomada en consideración:- es la influencia del aire y de su áscoc, sobre los fenómenos de combustión.-

Es raro que se use exigene puro para las combustiones;- es reciente, debido a que la producción de aire líquido se ha generalizado, que este comburente resulta un sub-producto de la fabricación del áscoc;- ha tomado lugar en el calentamiento con la soldadura autógena y las diversas aplicaciones del soplete oxí-acetileno.-

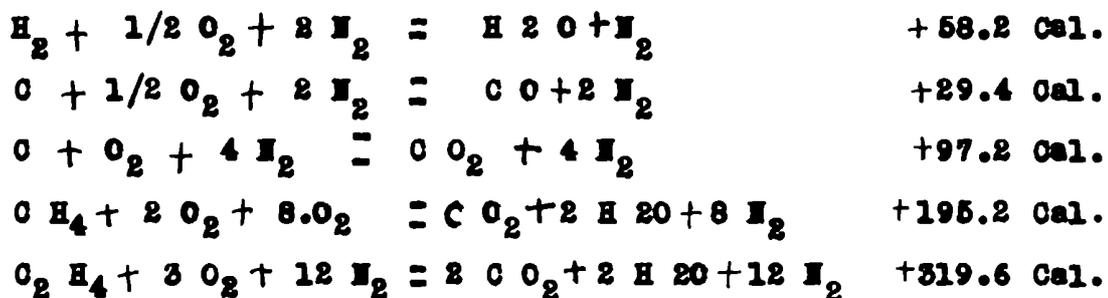
// En la mayoría de los casos el único comburente es el aire atmosférico, lo que se traduce por este hecho que el oxígeno sirviendo e teniendo que servir a la combustión, está siempre asociado a un volumen constante de ázoe.-

Inversamente:- en toda mezcla gaseosa constituida por productos de combustión completa e incompleta, la cantidad de oxígeno habiendo servido e debiendo servir a la combustión, podrá deducirse de la cantidad de ázoe, ya sea que este oxígeno esté libre e combinado al carbono.-

Se sabe que la composición en volumen del aire es -- 20,80 — y 79.2 de N e sea 4 volúmenes de ázoe por 1 de oxígeno.- En la práctica de los cálculos de combustión se admite que la relación es efectivamente 1/5 y 4/5:- esta simplificación facilita mucho los cálculos de combustión y el balance térmico.-

Es también legítimo en la práctica que el aire atmosférico siempre húmedo contiene casi exactamente 20 p. 100 y 80 p.100 (N + H 20) gas inerte para la combustión.-

Según estas las fórmulas teóricas de combustión en el aire atmosférico del carbono, del hidrógeno y de sus compuestos usuales:-



Las reacciones son a presión constante y el agua queda

// el estado de vapor.-

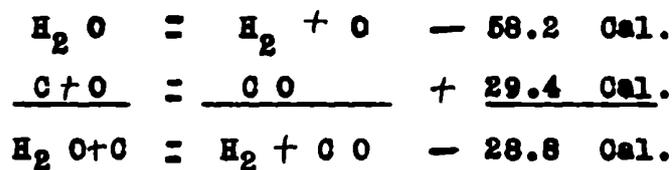
En estas fórmulas la relación de H a O en los productos de combustión es de 4 : 1.-

Hay excepción a esta regla cuando la combustión se hace en presencia de vapor de agua y en dos tiempos, como en los hornos de gas mixto.-

Combustión en presencia del vapor de agua.- Rol del vapor de agua en los hogares

El vapor de agua se encuentra frecuentemente en los hogares donde su rol puede ser útil debido a su descomposición en presencia de carbón que da una mezcla de dos gases combustibles H<sub>2</sub> y CO.

El calor de descomposición del agua en presencia del carbón es negativa:



Se vé por esta cifra que el primer efecto del vapor de agua: es un descenso de la temperatura del gas saliendo del hogar.- A este descenso corresponde un aumento de calor latente e enriquecimiento del gas en calorías que se encuentran un poco más lejos del laboratorio del hogar.-

Como el agua no es combustible, y no aporta en la combustión ninguna cantidad de calor, absorbe en cambio un poco, por su calor latente de vaporización y por su "calor de calentamiento" has-

// ta la temperatura de los humos, que vienen siempre a gravar el balance térmico.-

Cuando el agua no es descompuesta por ejemplo en la combustión sobre parrilla, de un combustible muy húmedo, su rol es siempre inútil y negativo, ella obstaculiza la combustión y disminuye el rendimiento.-

La práctica tan frecuente usada por los foguistas consistente en reciar el carbón antes de cargarle sobre la parrilla, se puede justificar por consideraciones secundarias;- ella impedirá por ejemplo la volatilización del polvo que tapa los tubos de caldera e ahuma el horno;- ella se opendrá aún a una brusca volatilización de los hidrocarburos, que dará un violento golpe de fuego e que a causa de la insuficiencia de aire provocada por esta súbita producción de gas, producirá un depósito de hollín o de alquitrán;- ella permitirá al foguista negligente, espaciar sus cargas.- En la mayor parte de los casos, el reciado previo del combustible es inútil, causa una pérdida de calerías, aumenta la consumación del carbón sin provecho.-

Cuando ella es descompuesta por el carbón, por ejemplo, si se la fuerza a atravesar la capa de combustible incandescente, se transforma en gases combustibles, absorbiendo calorías que pueden encontrarse casi integralmente, un poco más lejos en el horno.- "El agua es un agente de desplazamiento y de transporte de calor" (Carnet et D'Amour).-

A este respecto, ella rinde algunos servicios, permitiendo acumular el calor en el laboratorie, en el punto donde es más necesario.-

// Calores de combustión de los productos hidrocarbonados, hidrocarburos, alcoholes, etc.-

Se puede determinar por el cálculo, el poder calorífico cuando se conoce el calor de formación del hidrocarburo ( $C_n + H_m = X$  calorías), que las tablas de termoquímica dan, para la mayor parte de las combinaciones químicas conocidas.- Se basa para ello sobre el "principio del estado inicial y del estado final, que es como sigue:-

"La cantidad de calor absorbida o desprendida por un sistema, para pasar de un estado al otro, no depende sino del estado inicial y del estado final;- ella es la misma cualesquiera que sea la naturaleza y la serie de los estados intermedios".- Este principio ha permitido calcular el calor de formación de CO que es imposible de obtener solo, en la bomba calorimétrica, por ejemplo:-

Se sabe que la combustión del carbón se puede hacer de dos maneras diferentes:-



Como el calor desprendido es el mismo en los dos casos, se puede de estas dos cifras deducir el calor de formación de CO:-

$$X = 97.6 - 68.2 = 29.4 \text{ Cal.}$$

el vapor de  $C_6H_6$  sería:-

Para la combinación del carbono, del hidrógeno y del oxígeno, puede hacerse de dos maneras:-



De donde la ecuación:-

$$769.2 = - 10,2 + X$$

$$X = 779.4$$

Esta cifra difiere en algunas unidades de la que dan las tablas de termoquímica, porque el calor de combustión que n/.buscamos es siempre a presión constante, mientras que las tablas dan las cifras de la bomba calorimétrica, es decir a volumen constante.-

Villevocchia le explica de este modo:- llamando la atención de que mientras en la bomba calorimétrica el agua ( agua higroscópica, más agua formada por el hidrógeno contenido en el combustible) queda al estado líquido, en el uso práctico, pasa al estado de vapor entre los productos de la combustión;- entonces el poder calorífico calculado para la bomba comprende también el calor de condensación del agua, que en la práctica no es utilizable.-

Mientras en Francia se suele indicar el poder calorífico que resulta del cálculo, suponiendo el agua líquida, llamado "poder calorífico superior", en Alemania se deduce del poder calorífico así calculado, el calor de condensación del agua, admitiendo que éste queda al estado de vapor y se llama "poder calorífico inferior".

Haciendo igual a 600 calorías, el calor de condensación de un gramo de vapor secasse, si H es el % del H, y U el % de humedad del combustible, la cantidad a substraerse del poder calorífico "superior" para tener el "inferior" será  $6 ( U + 9 H )$ .-

// Si no se ha hecho el análisis elemental, se puede hacer una determinación aparte, del agua total desarrollada en la combustión quemando, por ejemplo, un peso dado del combustible en un tubo, y recogiendo el agua en un aparato de absorción, e también se puede, según Mahler, en los casos prácticos, tomar por H valores medios según la calidad del combustible ensayado .-

Así por ejemplo, dice Villavechia, : Una vez obtenido el poder calorífico "superior" se halla el poder calorífico "inferior", sea por ejemplo un combustible que contiene 3 % de humedad ( U ) y 4.5 % de hidrógeno ( H ) se deberá sustraer del resultado :-

$$6 ( 3 + 9 \times 4.5 ) = 261 \text{ calorías}$$

y se tendrá así el poder calorífico "inferior".-

Sabemos que la bomba de Kröcker facilita por su disposición las operaciones anteriores, pues hace llegar, después de la combustión a la bomba  $\theta$  a 105  $\pm$  una corriente de aire seco que arrastra el vapor acuoso que se haya formado, hacia un tubo con  $C_1, C_2, C_3$  a previamente pesado;- de tal modo se puede determinar el agua total formada para el cálculo del poder calorífico inferior útil, que es entonces el poder calorífico absoluto, total, disminuido del calor de condensación del agua formada.-

"      PODER      CALORIFICO      "

-o-

El desprendimiento de calor que acabamos de ver, manifestándose durante la oxidación se llama:- potencia - calorífica, -

// calor de combustión o aún:- " poder calorífico";-está íntimamente ligado a la naturaleza química del cuerpo y varía según su composición. P. C. será la cantidad de calor, medida en calorías que desprende la combustión de 1 kgr. de combustible.-

Sabemos que la combustión es exotérmica;- en cambio la descomposición del agua en sus elementos constitutivos es al contrario una reacción endotérmica, ella se produce con una gran absorción de calor, de donde se puede deducir, como hemos dicho, que la presencia de agua o humedad en los combustibles o en el aire es en principio perjudicial a causa del enfriamiento que producirá en el hogar, pues es improbable que la recombinación de los elementos se efectúe inmediatamente.-

### Combustión completa y combustión incompleta

Otro principio sería que:- La cantidad de calor desprendida durante la combustión es tanto más considerable cuanto la oxidación sea más completa.- Este se deduce implícitamente.-

Ya hemos dicho que el carbono, elemento constitutivo de los combustibles puede sufrir dos grados diferentes de oxidación: 1<sup>o</sup> grado: si la cantidad de oxígeno presente es limitada y en ciertas condiciones de temperatura, se formará óxido de carbono ( CO ).- 2<sup>a</sup> grado:- si la cantidad de oxígeno está en exceso, se formará CO<sub>2</sub>.

Por la primera de estas reacciones desprende solamente 2.453 per kgr. de carbono quemado, y la segunda desprende 8.137.- Se ve la enorme diferencia y toda la importancia que presenta la com-

// bustión de carbene al estado de ácido carbónico;- de este hecho se deducirá, por otra parte, la conclusión práctica:- que para un peso dado de combustible quemado, cuante más  $C O_2$  encierren los gases producidos por la combustión, tante la combustión habrá sido perfecta, es decir, el combustible será mejor utilizado.- Es en efecto, este el medio más preciso de controlar el buen funcionamiento de un hogar.-

La combustión incompleta del carbene será entonces el primer inconveniente;- quemar el carbene al estado de  $C O$  en lugar de quemar como  $C O_2$  perderá s/. hemos visto las tres cuartas partes del calor almacenado en el combustible.-

Otro punto de vista práctico:- es de qué manera y en qué condiciones de temperatura y de presión se efectúa la combustión. El calor utilizable libertado por la combustión será, en efecto bien diferente si la reacción tiene lugar a alta e a baja temperatura, a presión constante o volumen constante, a la presión atmosférica e a baja presión más e menos considerable, pues los calores de calentamiento de los cuerpos varían según estos diferentes factores.-

Calor específico de calentamiento.- El calor específico de un cuerpo, como es muy sabido, es el número de calorías necesarias para elevar de  $1^{\circ} C$  la temperatura de 1 kgr. del cuerpo considerado.-

Si  $Q$  es el calor total de calentamiento o sea la cantidad de calor total necesaria para hacer pasar de  $t_1^{\circ}$  a  $t_2^{\circ}$  la temperatura de un kilógrame de la substancia, el calor específico medio será la cantidad de calor per grado:-

$$// \quad C = \frac{Q}{t_1 - t_2}$$

El calor específico verdadero será el límite del calor específico medio cuando las dos temperaturas  $t_1$  y  $t_2$  tiendan a confundirse o sea cuando  $C E \text{ verd.} = \frac{dQ}{dt}$

Prácticamente las tablas dan generalmente el calor específico medio.- El calor específico de los cuerpos aumenta con la temperatura;- si se quiere pues calcular los calores de calentamiento con exactitud, será menester tener en cuenta condiciones de temperatura.-

Como se vé es necesario, especificar bien en los cálculos, entre cuales límites de temperatura se operan las combustiones.-

La consideración de los calores específicos, tiene la mayor importancia en la combustión.-

Así, por ejemplo:- el "peder calorífico útil", es decir el número de calorías utilizables a la temperatura que reina en un hogar de caldera, es inferior al que se tiene la costumbre de tomar por base según los resultados del ensayo de la bomba calorimétrica.- Per estas dos razones:-

1ª) Porque en el ebúo, el vapor de agua resultante de la combustión del H de las materias volátiles del C, es condensado bajo forma de agua líquida, y siendo entonces en la práctica la temperatura a la cual el humo es evacuado es siempre superior a 100° F, las 637 calorías de calor latente de vaporización del agua se pierden.-  
(537 + 100)

// 2ª) Porque si la temperatura del hogar es por ejemplo de 1.000ª, y la de la evacuación de los humos 300ª, será menester consumir calorías para elevar la temperatura del combustible y del comburente:- de la temperatura ambiente a la temperatura del recinto, y que los productos de la combustión, igualmente calentados a esta temperatura, no restituirán completamente su calor de calentamiento pues que se escapan a 300ª C.-

El primer punto, la condensación del vapor de agua, es muy importante de notar cuando se trata de combustibles muy hidrogenados.-

Ahora se tiene cuidado de especificar si se trata de poder calorífico "superior" ó poder calorífico "inferior".- Se pasa de uno a otro como hemos visto calculando según el H contenido en el combustible la cantidad (en Klg) de agua producida, y multiplicando por 600 calorías (en lugar de 637, pues la temperatura ambiente no es jamás igual a 0º C).- Deducen la cifra encontrada del poder calorífico superior y tienen así el poder calorífico inferior, que es el único lógico de hacer intervenir en los cálculos de los rendimientos técnicos de las calderas.-

El 2ª punto, evacuación de los gases con temperatura, es todavía de importancia más considerable.- De él depende principalmente la economía de la combustión.-

Tomemos, por ejemplo, un hogar a la temperatura de 1.200ª que n/. alimentamos naturalmente con carbón y de aire a la temperatura ambiente;- para elevar estos cuerpos de la temperatura

// de 20°, por ejemplo, a 1.200°, debemos quitar al hogar una cierta cantidad de calor, o sea causar un enfriamiento perjudicial, como ya hemos visto.- Y todavía se tiene la poca suerte de que el aire en particular, es muy mal agente térmico, y necesita una absorción considerable en calorías para su calentamiento;- además un klg. de C quemado no hace emplear su consumo teórico, o sea 11 klg. de aire, sino algo más también, con el objeto de no causar un muy grande enfriamiento del hogar, será menester proporcionar lo más rigurosamente posible la cantidad de aire a la cantidad de combustible.-

En fin:- el problema de la utilización económica del combustible, o si se quiere la liberación de un número de calorías utilizables al máximo, consistirá en dosar correctamente la cantidad de aire de combustión.-

No es suficiente algunas veces para obtener el resultado óptimo en una operación industrial, conseguir un "poder calorífico útil" al máximo.- Hay aún la condición de temperatura.e

Por ejemplo, para fundir el acero, cuya temperatura de fusión es de 1.500°, no servirá de nada tener una cantidad de calorías por grande que sea, a la temperatura de 1.000° solamente.- Es pues muy importante, en general, poder realizar temperaturas elevadas.- En un generador a vapor, -repetimos otra vez, - hay interés en tener una alta temperatura en el hogar, por el hecho de que la transmisión del calor a través del hierro es directamente proporcional a su diferencia de las temperaturas, reinando en cada coste-

// do de la pared, es decir, entre las temperaturas del agua en el interior de la caldera y la del hogar al exterior;- y resulta pues que para una misma velocidad de los gases en el hogar, cuanto más la temperatura será elevada, más pasará calorías al mismo tiempo, al agua de la caldera, y menos, por consiguiente, huirán de la chimenea bajo la forma de "calor perdido";- en una palabra:- el combustible será mejor utilizado.-

A parte de este interés capital, una alta temperatura asegura además, la combustión de los gases que toman nacimiento por destilación o gaseificación de la hulla introducida en el hogar; estos gases combustibles tienen en general un punto de ignición muy elevado, y por poco que la temperatura del hogar sea relativamente baja o que él venga demasiado rápidamente en contacto con los tubos de la caldera, ellos pasan en la chimenea sin haberse quemado y ocasionan una nueva pérdida.- También el enfriamiento del hogar de un generador, a causa de un exceso de aire, no es solamente perjudicial por la pérdida de calorías que provoca el calentamiento del aire en exceso, pero aún porque el hierro de la utilización del calorico se ha disminuido.- Para evitar este descenso perjudicial de temperatura se ha llegado en ciertos casos, a calentar exteriormente el aire antes de su introducción en el fuego.-

Los hornos metélicos utilizan las "calorías perdidas" aportadas por los gases de la chimenea, para recalentar el aire necesario, se ha tenido la idea de aplicar este sistema a las calde-

. // ras y se ha podido encontrar en los "economizadores".-

Resumiendo:- para conseguir y conservar una alta temperatura en el hogar, es necesario alimentar este foco con aire caliente.-

Temperatura teórica de la llama.-

Se la asimila a la temperatura a la cual se encuentran llevados los gases resultantes de la combustión a causa del desprendimiento de calor producido por la oxidación del combustible. Poniendo a prueba lo que sabemos de calores específicos, vamos a poder teóricamente estimar la temperatura máxima, a que es susceptible de llegar la combustión de un cuerpo dado.-

Sea por ejemplo la combustión incompleta del carbono al estado de CO ya indicado por la ecuación  $C + O = CO$ .- Esta reacción desprende sabemos 2.453 C ; - la ecuación indica, además, que para quemar 12 de carbono (su peso atómico) es menester 16 de oxígeno ( $O = 16$  ).- Para quemar 1 klg. de C es menester  $16/12 = 1,333$  Klg. de oxígeno y un total producirá, por consiguiente  $1 + 1,333 = 2,333$  de CO ; - el calor específico de este gas siendo 0,245 C por kilogramo, la cantidad de calor necesaria para elevar a 12 C el peso del gas producido es pues  $0,245 \times 2,333$ :- la cantidad total de calor producido es, por otra parte de 2.453 C, la temperatura máxima a que es dado llegar, es evidentemente :-

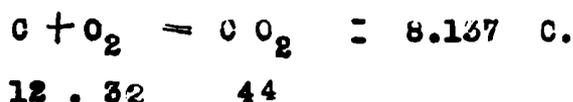
$$T = \frac{2.453}{(0,245 \times 2,333)} = 4.292^{\circ}$$

// Hemos supuesto que la combustión se efectúa en el oxígeno puro;- en el aire, que contiene en peso 3.32 veces más  $N_2$  que oxígeno, es menester calentar suplementariamente una cantidad de  $N_2$  igual a  $1.333 \times 3.32$ ;- el calor específico del  $N_2$  es 0,244, la cantidad de calor absorbida de más será  $1.333 \times 3.32 \times 0,244$ , y la temperatura no llegará más que al valor dado por:-

$$T = \frac{2.453}{(0,245 \times 2,333) + (0,244 \times 1,333 \times 3.32)} = 1.485^{\circ}$$

Se vé la diferencia de la combustión en el oxígeno y en el aire.-

Otro caso:-



para quemar 1 klg. de C = 2.666 K. de O específico  
y se producirá 1 2.666 = 3.666 de  $CO_2$ ;- el calor del  $CO_2$  =  
0,216 :: la cantidad de calor necesaria para elevar  
la el peso del gas producido será:-  $0,216 \times 2.666 = 575.85$  y la  
cantidad de calor producido sabemos por la reacción que es 8.137,  
la temperatura máxima será entonces :-

$$T = \frac{8.137}{(0,216 \times 3.666)} = 10.276$$

para el aire con 3.32 más  $N_2$  que O, habrá que calentar suplementaria-  
mente una cantidad de  $N_2$  = a  $2.666 \times 3,32$ ;- el calor específico del  
 $N_2$  = 0,244 la cantidad de calor absorbida será:-  $2.666 \times 3,32 \times 0,244$

// y la temperatura será:-

$$T = \frac{8.137}{(0,245 \times 3.666) + (0,244 \times 2.666 \times 3,32)} = 3058,04.$$

Se vé la diferencia de la temperatura: entre la producción de  $O_2$  ( 10.276 C) teórico, y la realidad máxima en el aire:  $3058, \frac{04}{0}$  .-

Y conociendo la "potencia calorífica" , es decir el número de calorías desprendidas, en peso del combustible y del comburente, y por consiguiente el peso de los productos de la combustión, y en fin el calor específico de estos: la temperatura máxima a que es posible llegar, estará dada por la relación del "calor total" que es posible desprender y los "calores elementales" que es necesario producir, para elevar de un grado centígrado el peso de gas producido por la combustión, suponiendo, que el combustible y el comburente sean los dos llevados previamente a la temperatura de la combustión, es decir: que no haya que calentarlos con el calor desprendido por la reacción.-

Sabemos que con el oxígeno sólo, se produce la combustión ; - pero si esta combustión se efectúa en el aire será necesario calentar el N inerte a expensas del calor total, y la temperatura de combustión en el aire, será mucho más baja que en el oxígeno, lógicamente.-

Así tenemos que la temperatura de combustión completa del carbono, que sería teóricamente de más de 10.000° en el

// oxígeno, baja a 2.700% en el aire prácticamente.- Se ha ensaya-  
do tratando de enriquecer el aire de oxígeno, como ya hemos dicho,  
de esta manera la combustión será más fácil, la temperatura de com-  
bustión será más alta y, en fin, las pérdidas de los gases del humo  
serán más débiles.-

Antes se agregaba al hogar cuerpos ricos en oxígeno,  
como  $N$  a  $N O_3$  :- hoy, gracias al aire líquido, se habla de enrique-  
cer el aire con oxígeno del aire líquido, etc.-  
-----

Ya hemos dicho que los combustibles son materia pri-  
ma indispensables para la producción de fuerza motriz, y ninguna in-  
dustria ( Post y Neumann), que consuma grandes cantidades, puede ser  
dirigida racionalmente, sin un control permanente de su valor real-  
el conocimiento de la composición y del P.C de los combustibles en  
particular y el control permanente del "efecto útil". en los hogares  
de las calderas, será muy fundamental para calcular el precio y  
elegir el combustible a los efectos de mejorar la cantidad de calo-  
rías.-

Sabemos que el calor de combustión de un compuesto  
químico, o sea la cantidad de calor que él produce por su combustión  
completa con producción de  $C O_2$  gaseoso y de agua líquida, depende  
en primer término de su composición, es decir, de las proporciones  
respectivas de C - H - N - S - O, etc. que él encierra.- Pero esta  
constante depende también de la manera como estos elementos están  
químicamente ligados entre sí.-

// Si observamos de cerca la combustión, dice al respecto Post y Neumann, podemos suponer que se compone de varias fases: todo cuerpo sólido es formado de agregaciones de moléculas (o partículas) que serán descompuestas en moléculas, las moléculas son transformadas en gases, que son a su vez escindidos en átomos.- Los átomos libres de carbono H, etc., se combinan entónces con el oxígeno para dar compuestos gaseosos.- La cantidad de calor desarrollada por la combustión será igual a la absorción de calor necesario para la descomposición de los agregados, aumentada del calor de combinación con el oxígeno de los átomos libres.- Este último grandor es constante para cada elemento y positivo, mientras que el trabajo necesario para la destrucción de las moléculas varía naturalmente según su composición.-

Si esto no fuera así, las modificaciones alotrópicas de un mismo elemento debieran poseer todos el mismo calor de combustión, lo que no es así.-

Por ejemplo, el carbono al estado de diamante produce 7.859 C, al estado de grafito 7901 y al estado de carbón de madera 8137.- Y tambien los cuerpos isómeros debieran poseer el mismo calor de combustión, lo que tampoco es exacto.- Todo lo cual demostraría que no es posible calcular el calor de combustión basándose en el análisis elemental.-

Y si se trata de maderas el caso es más complicado: la substancia primitiva de la madera al estado de condensación más

// o menos avanzada, contienen más oxígeno y la descomposición de la molécula es más fácil, no se puede entonces exigir que una fórmula empírica pueda aplicarse a combustibles de constitución tan diversa como los que se usan actualmente.-

El análisis elemental se explicaba cuando los métodos calorimétricos eran poco prácticos.-

#### Determinación "directa" del poder calorífico.-

El P. C. teórico y absoluto de un combustible no puede ser determinado con exactitud sino por un ensayo en una instalación ideal, realizando una combustión perfecta como en la bomba calorimétrica.- Pero los ensayos en gran escala sobre las calderas a vapor, por ejemplo, contiene pérdidas inherentes, que repetimos, son:-

1ª) pérdidas por la chimenea;- los productos de la combustión se escapan por la chimenea con una temperatura elevada muchas veces.-

2ª) pérdidas por combustión incompleta;- formación de CO, negro de humo y presencia de carbón coqueificado y no quemado en las cenizas ( escarbillos ).-

3ª) pérdidas por radiación de las calderas y de la mampostería;- sabemos que las pérdidas debidas a las dos primeras causas, pueden ser determinadas únicamente.- La pérdida por radiación no es constante y sabemos que no puede ser medida.-

// Además del arrastre del agua por el vapor en vesícula  
las que hace parecer el P.C. más elevado que la realidad.-

Operando en calderas se obtiene el poder calorífico  
práctico, que depende de la instalación.-

### Poder calorífico

#### Determinación indirecta.-

Sabemos que los resultados del análisis químico no  
tendrían valor práctico y no serían utilizables, sino se pudiera  
deducir el calor que desprendieran en la combustión, o sea su po-  
der calorífico.-

Para ello hay al respecto numerosas fórmulas que per-  
miten calcularlo.-

#### Determinación directa con el calorímetro

#### Poder calorífico verdadero:-

Pero el poder calorífico, determinado por la bomba  
que veremos enseguida, y corregido, <sup>no</sup> nos da la potencia o sea el  
poder realmente utilizable.-

Eligiendo un combustible de acuerdo solamente con  
los datos del análisis y según la influencia del tenor en cenizas  
y materias volátiles, se concluirá que el mejor combustible es el  
que contuviera menos cenizas y más materias volátiles, cuyo poder  
calorífico sería por consiguiente más elevado.- Y para Izart, es-  
to sería hacer una mala especulación, pues a partir de 15 á 20 %  
en materias volátiles, el calor de la combustión es muy mal utili-

// sado en los hogares de las calderas usuales;- los carbones grasos, per ejemplo, quemando con una larga llama, ocasionan un humo abundante a causa del enfriamiento del hogar y de la disociación de los carburos pasados en carbeno (hollín) e hidrógeno, -que ya hemos considerado;- además, en el momento cuando el carbón nuevo es echado en el hogar, hay desprendimiento abundante de gases combustibles producidos por la destilación;- la cantidad de aire normal no es suficiente entonces y una gran parte de estos gases se escapan incompletamente quemados.-

Poder calorífico práctico. { ( = teórico  
{ = real

Como vemos el poder calorífico determinado por el calorímetro es mayor que el poder calorífico real.-

Sabemos que el combustible echado sobre la parrilla contiene siempre una cierta cantidad de agua higroscópica que se vaporiza durante la combustión.- Contiene tambien productos hidrogenados que arden, dando vapor de agua, de donde tambien una nueva pérdida de calor de vaporización.-

Estas pérdidas, -como ya hemos dicho, -no se producen en el calorímetro, pues el vapor de agua formado durante la combustión, se condensa enseguida restituyendo la totalidad del calor que ella había absorbido.-

Si tuviéramos carbono puro, por ejemplo, la cantidad de calor producida por la combustión sería según las tablas: 8.140

// calorías;- pero, si el carbón contiene 3 % de agua, hay entonces disminución proporcional del desprendimiento de calor:- - - -  
 $8.140 \times 0.97 = 7.896$  y pérdida de  $8.140 - 7.896 = 244$  calorías.-  
 Además una parte del calor producido es empleado en vaporizar (3%) de agua, después en calentar el vapor hasta la temperatura de salida de los gases de la combustión.- Estos, teniendo  $300^{\circ} \text{C}$  y la temperatura del carbón en el momento que se le echa en el fuego siendo  $25^{\circ} \text{C}$ , se tiene:- aplicando la fórmula de Regnault y haciendo actuar el calor específico del vapor de agua ( 0.48 ), el calor perdido por kilogramo será:-

$$\frac{3}{100} \left[ \begin{array}{l} 606.5 \text{ calor específico del agua} \\ \text{cal. latente} + 0.305 ( 100^{\circ} \text{C} - 25^{\circ} \text{C} ) + 0.48 ( 300 - 100 ) \\ \text{del vapor.} \end{array} \right]$$

= 21.8

El total de las pérdidas será:-

$$244 + 21.8 = 265.8 \text{ calorías}$$

Como sabemos Regnault ha concluido de sus experiencias que el calor específico del vapor de agua bajo presión constante es igual 0.48 y que el calor de vaporización depende de la temperatura.-

El número  $\Lambda$  de calorías necesarias para reducir el vapor a  $T^{\circ}$ , un kilogramo de agua, estará ligado a  $T = (\theta e)$  por la fórmula:-

$$1) \Lambda = 606.5 + 0.305 T$$

$$T = \theta e$$

606.5 = calor latente de vaporización a  $0^{\circ}$

// 0.305 = calor específico del vapor de agua.

$\Lambda$  = calor total del vapor de agua a T<sup>a</sup>

ahora para transformar

1 kgr. de H<sub>2</sub>O a 0<sup>a</sup> en vapor a 100<sup>a</sup> es menester

$$\Lambda = 606.5 + 0.305 \times 100 = 637 \text{ calorías.}$$

Si se quisiera calcular el calor necesario para transformar un kilogramo de agua de T<sup>a</sup> en vapor a T, se debe quitar T. calorías del calor de  $\Lambda$  :- y se obtiene

$$\Lambda' = 606.5 + 0.305 T - T.$$

Si en particular, el agua estaba entonces a 100<sup>a</sup>, se tiene:-

$$\Lambda' = 606.5 + 0.305 \cdot 100 - 100 = 537$$

Podemos concluir que la determinación indirecta del P.C. da un resultado inexacto;- que la determinación directa, exigiendo un material costoso, no es siempre posible;- que además el P.C. absoluto, determinado por combustión en el calorímetro no corresponde a menudo a la potencia calorífica práctica resultante de la combustión en los hogares industriales.-

Parecería entonces que el mejor medio de apreciación práctica del valor del combustible, es de determinar directamente la potencia calorífica obtenida como consecuencia de su utilización.-

Sin embargo el generador de vapor se parece en principio del aparato Mahler o Kröcker:- en los dos casos el combusti-

// bles arde calentando una cierta cantidad de agua.- Y como las determinaciones rigurosas de los pesos de carbene de agua y de la elevación de temperatura, permiten calcular en el laboratorio la potencia calorífica absoluta;- tambien conociendo la temperatura y el peso de la hulla quemada, el agua vaporizada, los diversos gases residuales, se podrá cifrar el valor práctico del combustible ( Rousset ).-

Y el control químico de la combustión permitirá comparar las variedades de carbón empleados por los ensayos del "generador calorimétrico", no solamente se podrá juzgar exactamente, sino que será posible hacer variar las condiciones prácticas de utilización para conocer, según el valor de cada combustible, la manera como conviene quemarlo a fin de obtener el rendimiento máximo.-

-----

EN RESUMEN:

Métodos para hallar el poder calorífico

- a) basados en el análisis elemental, fórmulas Dulong, Makler, etc.
- b) proc. directo por el calorímetro - Kroeker.
- c) proc. por el P.b O (Berthier)
- d) cálculo según el análisis inmediato (Goutal - Depaepe).-

a) Métodos basados s/el análisis elemental

Se fundan en la hipótesis: que durante la combustión, el oxígeno del combustible es eliminado bajo forma de vapor de agua con la cantidad de hidrógeno correspondiente y los elementos, y el agua formada no participa en la producción del calor (sino más bien en forma negativa).-

El hidrógeno no utilizado para la formación del vapor de agua, es considerado como el hidrógeno disponible o útil, esta cantidad solo interviene en los cálculos  $( H - \frac{O}{8} )$ .-

Y el P.C será igual entonces a la suma de los calores desprendidos por cada elementos quemándose, calculados como si estos elementos estuvieran libres, pero no haciendo intervenir para el H. si no la parte disponible:-

Y se admite según experiencias que:

1 gr. de H	desprende	34500 C
1 " " C	"	8080 "
1 " " S	"	2162 "

y se tendrá:

$$P = \underline{8080 C + 34500 ( H - \frac{O}{8} ) + 2162 S} \quad (\text{Dulong})$$

//y teniendo en cuenta la cantidad de calor necesaria para la volatilización del agua, la fórmula de Dulong, será:

$$P = \frac{8080 C + 34500 \left( H - \frac{O}{8} \right) + 2162 S}{100} - \frac{94}{100} 619 c.$$

619 = n de calorías corresp. a la vaporización de 1 gra. de agua, proveniente de la combustión del H.-

Mahler: ha modificado la fórmula de este modo:

$$P = \frac{8140 C + 34500 H - 3000 (O + N)}{100}$$

pero sabemos por las múltiples experiencias de Scheuner - Kestner y Meunier Dollfus, que el análisis elemental de un combustible no puede servir para la determinación del calor de combustión ( P C ) y además que los cuerpos isómeros y los estados alotrópicos de los hidrocarburos dan "diferente" P C.-

b) Método directo por el calorímetro

Sabemos que este es el proced. más exacto y cuyo principio sería una navajilla de P t hecha pastilla y sostenida con un alambre de Fe : en el obús una capacidad de paredes resistentes cuyo valor en agua se conoce, se coloca el combustible perfirizado; se introduce en seguida el oxígeno bajo una presión conveniente ( 20 a 25 atmosf. ) y se cierra perfectamente dicha cavidad.- Se inmerge en seguida el obús en el agua del calorímetro, se inflama el combustible por la corriente eléctrica y entonces el combustible se quema completamente e instantáneamente, su calor desprendido se transmite entonces, sin pérdida apreciable al agua del calorímetro, y es fácil precisarla con un termómetro Beckmann

//para operaciones calorimétricas.-

Es necesario anotar la temperatura de minuto en minuto durante 4 o 5 minutos para fijar así la ley que sigue el termómetro antes de la inflamación (la ley de variación de temperatura).- Y después de dar fuego aproximando al obús los electrodos de un acumulador eléctrico, por ejemp.poniendo en contacto un borne que corresponda a uno de las varillas de platino que tienen conectados un extremo del alambre de hierro del que está suspendido el combustible porfirizado y hecho pastilla y el otro polo a cualquier punto de la tapa.-

Una vez dado fuego, la combustión es instantánea pero la transmisión de calor al agua del calorímetro dura algunos minutos y se toma la temperatura el medio minuto de haber dado fuego y consecutivamente cada minuto hasta el máximo para constituir así el "periodo de combustión" que así se llama.- Después también cada minuto posterior durante varios minutos para poder establecer el período consecutivo al máximo y poder también establecer la ley de variación de la temperatura.- Estableciendo inmediatamente la "variación bruta de temperatura Posteriormente las correcciones que es menester tener en cuenta y que provienen de la pérdida de calor que el sistema experimenta durante la experiencia, pero que se prescinde para el cálculo industrial pues es suficiente en tomar la diferencia de temperatura bruta y multiplicarla por el valor en agua del sistema; y aplicando después la fórmula final

$$Q = (\Delta + \alpha) (P + P') - (0.23 p + 1.6 p')$$

donde:

- Q = p.c. buscado
- $\Delta$  = dif.de temp.observ.
- $\alpha$  = corrección p. enfriamiento
- P = peso del agua del calorímetro
- P' = equiv. en agua del aparato

//  $p =$  peso del  $H N O_3$  formado  
 $p' =$  peso del hilo de hierro.-

Para las experiencias de este trabajo he podido usar la bomba de Kröcker que como es sabido ha sido una feliz modif. de la bomba de Mahler, agregándole un dispositivo que permite previa inactivación de aire desprov. de Humed. y  $C O_2$ , calentado el obús en baño de aceite  $110^{\circ}$  a  $115^{\circ}$ , dirigir los gases de la combustión hacia un aparato tarado y que encierra cloruro de calcio destinado a retener el vapor de agua que ha tomado nacimiento durante la combustión y permite por lo mismo valorarlo y también se recibe en otro tubo a continuación el  $C O_2$ , que se fija en esa cal' y por lo mismo se dosa <sup>sodada</sup> teniendo entonces valorado el vapor de agua de la combustión y como sabemos la humedad del combustible empleado la dif. será agua formada a expensas del H. puesto en libertad y que por lo mismo lo valoramos; de la cantidad de  $C O_2$  que dosamos deduciendo el C que se necesitó para formarlo y que lo proporcionó el combustible y con estos dos elementos y el N. que nos lo dará el dosage del  $H N O_3$  formado, solo nos faltará dosar el Q que podríamos hacerlo por diferencia y obtendríamos así el análisis elemental del combustible al propio tiempo que su poder calorífico.-

c) Proced. por medio del P b O (Berthier).

Este es un procedimiento industrial algo desacreditado por lo empírico y fundado en un principio no muy exacto, el de Walter que dice: "el poder calorífico de un combustible es proporcional a la cantidad de oxígeno necesario para su combustión", aunque este principio no se aplica en las condiciones de la experiencia de Berthier.-

Sabemos que este químico opera: 1 gr. de combustible pul-

//verizado, se le mezcla intimamente con 40 o 50 grs. de P b O en polvo, se coloca la mezcla bien íntima, en un crisol de tierra, bien limpio, recubierto con 20 o 30 grs. de P b O, cubre el crisol con una buena tapa que se adhiere salvo un punto de escape, se introduce el crisol en un horno y se calienta fuertemente al rojo vivo gradualmente, se deja enfriar, se rompe el crisol, se retira el régulo formado se martilla y se pesa, multiplicando después por el factor 234 C nos dará el poder calorífico del combustible.-

Este factor 234 C se deduce de:



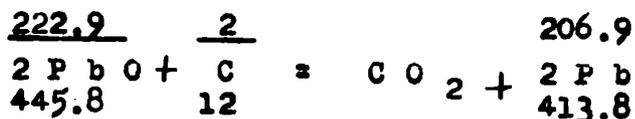
de donde: 1 de C = 34,5 de P b

o 1 gr.de C = 8080 c

$$\frac{8080}{34.5} = 234 C.$$

Es evidente que en este procedimiento no se tienen en cuenta el calor de formación de los compuestos examinados; además se atribuye al carbón únicamente la reducción del P b O a P b y en ello indudablemente se comete un error apreciable y tanto mayor cuanto mayor sea la cantidad de hidrógeno disponible en el combustible.-

pues:  $P b O + H_2 = H_2 O + P b$



así vemos que por una parte 2 grs. de H libentan a 206.9 de P b; y 2 grs de H. quemándose desprenden  $34.500 \times 2 = 6900$ , 1 gr.de P b reducido corresponderá a  $\frac{69000}{206.9} = 333.5$

Per otra parte 12 grs. de C libentan:

//

206.9 x 2 = 413.8 de P b, y 12 grs. de carbono quemándose des-  
prenden:

8080 x 12 = 96 960 C, pues 1 gr. de P b reducido corresp. a:

$$\frac{96\ 960}{413.8} = 23494$$

Vemos que por diferentes cálculos llegamos a los números  
333.5 / 234.4 que están en la relación 1: 1,42 y el error entonces  
será tanto mayor cuanto mayor sea el tenor de hidrógeno sea más ele-  
vado.-

Todo esto es evidente pero en la industria, en los hogares  
industriales tampoco quema ni arde el H sino muy ocasionalmente y l  
las materias volátiles de los combustibles tampoco arden, se van en  
el tijaje sin arder en cierto modo como en el crisol del proc. Ber-  
thier, cuyo método precisamente es el que más se aproxima a la rea-  
lidad industrial, es el que nos puede proporcionar el "poder calorí-  
fico industrial", el práctico, el realizable y el más accesible para  
los balances y controles térmicos, pues existe con todos los defectos  
técnicos actuales de los generadores a vapor y hogares industriales,  
y es el que en realidad necesita la industria y no el "poder calorí-  
fico absoluto", efectuado en las condiciones más óptimas de combus-  
tión que se aparta de la realidad industrial.-

Hemos podido constatar la diferencia evidente y palpable  
realidad de estos dos métodos: el de la bomba de Kröcker y el de  
Berthier, y partiendo del ensayo de vaporización efectuado que nos  
daba todas las calorías utilizadas por las mejores calderas indus-  
triales, hemos podido constatar y así lo consignamos que el desacre-  
ditado método Berthier era el que más se acercaba a la realidad in-

//dustrial y es en virtud de estos datos que nos permitimos preconizar dicho método calorimétrico para operaciones de carácter químico-industrial en lo referente a poder calorífico de combustibles.-

o) Cálculo según el análisis inmediato ( Goutal )

Sabemos que Goutal preconiza una fórmula que permite calcular el poder calorífico de un combustible, según los resultados obtenidos por el ensayo del crisol:

dicha fórmula es : 
$$P = \frac{8150 C + A M}{100}$$

P = poder calorífico en kilógramos

C = % de carbón fijo ( coque - cenizas )

M = % de materias volátiles = 100 - ( coque + agua )

A = coeficiente de valor variable con el tenor en materias volátiles.-

Depaepe ha propuesto una modificación a la fórmula Goutal.

Representado por M' el tenor de materias volátiles del combustible, supuesto privado de agua y cenizas:

$$M' = \frac{100 M}{M + C}$$
 dice Meurice que el autor ha hecho un gran número de ensayos y le dieron resultados concordantes con el poder calorífico obtenido en la bomba de Mahler.-

Esta fórmula es más lógica pues compara los carbonos fijos de los combustibles o sea lo verdaderamente combustible.-

Pero no hemos podido aprovechar la fórmula de Paepe pues los combustibles de emergencia usados, escapaban a dichos coeficientes el maíz usado tiene 70,72 y 70.51 de materias volátiles y escapa a los coeficientes y lo mismo ocurre para las maderas y el petróleo.-

La fórmula de Paepe es excelente, pero para hullas, que es el combustible más difundido en todos los generadores de vapor.-

PODER VAPORIZADOR EN COMBUSTIBLES

(Rendimiento práctico)

I. ENSAYO INDUSTRIAL

(experiencias efectuadas en la C.A.T.E. - Dock Sud.-)

Indicaciones relativas a la caldera:

tipo: multitubular de marina - Babcock Wilcox.-

superficie )  
de { 505 m<sup>2</sup> .-  
calefacción }

Cámara de combustión: superficie 13.6 m<sup>2</sup> x 1.20 m. con toberas.-

Capacidad normal: 12.700 Kgs. de vapor a 13 at/ 370<sup>o</sup> p. hora.

superficie de evaporación: 480 m<sup>2</sup>

superficie total de la parrilla: 13.6 m<sup>2</sup>

superficie total del sobrecalentador: 135 m<sup>2</sup>

Presión de vaporización = 12.4 at.

dimensiones principales

caldera: 5 m. lado x 2 m. base

una chapa: 5 m. x 1.50 m.

otra chapa: 2.50 m. x 1.50 m.

Cámara de combustión

tiene cinco puertas de hierro iguales:

C/una - alto - 0,80 m.

" - ancho - 0,90 m.

" - espesor - 0,25 m.

Macizo de mampostería de dicha cámara

espesor - 0,70 m  
 largo - 5,53 m  
 ancho - 2,24 m  
 alto - 2,02 m.

1.8°

ANALISIS QUIMICO

Maíz en grano sin secarlo (Kröcker) -

término medio: marlo

P. Calorífico superior	3315 C	3558
P. Calorífico inferior	<del>3177</del> 2.949	<del>3177</del> 3.192
P. Calorífico (Berthier)	<del>2714</del> 2.732	2761
Humedad - 7.48 -		Humedad 7.47b
Mat. Volát. 70.72 -		Mat. vol. 70.51
Carbón fijo - 20.35		Carbón fijo 20.62
Cenizas - 1.45		Cenizas 1.40
Coke - 21.80		Coke 22.02

C	%	42.95
H	"	5.96
O	"	48.33
N	"	1.96
	cenizas	<u>1.40</u>
		100.00

ANALISIS ELEMENTAL



///"la aspiración por una hendidura lateral con el objeto de tener una muestra media más exacta, es inútil.-

Y recogidos los gases que ya han recorrido un buen trecho, porque según Hersin-Deen, los gases en movimiento se mezclan en forma algo perezosa.-

De la sonda los gases pasaban a una pipeta con agua saturada de  $\text{Cl Na}$  para servir de muestras de gases.-

Los gases eran previamente secados y filtrados en un manómetro de vidrio pulido lleno de algodón de vidrio destinado a detener el hollín y todas las materias sólidas que pudiera haber en suspensión.- Un pequeño frasco colocado encima con  $\text{C l}_2 \text{ C}$  a anhidro para absorber la humedad.-

De aquí pasaban a la sonda, etc.-

Fuéron dosados por el método de absorción en bureta de Bunte, que consiste, como sabemos, en tratar un volumen de gas por un reactivo propio para absorber el elemento que se trata de dosar; la diferencia en volumen de después de la operación y antes, nos da la cantidad de dicho elemento.-

Sabemos que en general se dosa, e sea se absorbe en el análisis de gases: el  $\text{C O}_2$  con  $\text{Na (e H)}$  al 33 %.- Sabemos que 250 cc de esta solución, absorben hasta 10.000 cc de  $\text{C O}_2$ .-

Los hidrocarburos pesados (etileno y homólogos con  $\text{H}_2 \text{ O} + \text{B r}$ )-

El oxígeno fué absorbido con pirogalato de potasio, mezclando una solución de 120 cc de  $(\text{K e H})$  con 80 cc de agua.- Sabemos que este reactivo puede absorber de 20 a 23 cc de oxígeno por cada

//10 cc. pero no se debe emplear hasta agotamiento, pues Berthelot, ha demostrado que este reactivo no puede absorber más de cuatro a cinco veces su peso en oxígeno, podría haber además de la absorción, formación de mínimas cantidades de C O (0,4 0,6 % de oxígeno absorbido) lo que falsearía en igual cantidad el resultado obtenido, aunque para análisis industriales el error no tendría importancia.-

Y el óxido de carbono fué absorbido y dosado con cloruro cuproso: Una solución de Cl<sub>2</sub> C u preparada (Fresenius) con C U O y H C l, haciendo digerir la solución así obtenida con tornaduras de cobre en frasco bien tapado; sabemos que en estas condiciones la sol. para de C L<sub>2</sub> C u cúbica, es transformada en una solución incolora de C L C U (cuproso) de la cual se separan algunos cristales que se redissuelven agregando un poco de H C L.- Este C L<sub>2</sub> C U se vierte en una gran cantidad de agua, en estas condiciones pp. bajo forma de sal blanca, se deja depositar y se disuelve la sal separada en el N H<sub>3</sub> de densidad 0,91.-

Todas las lecturas fueron hechas lavando con agua salada la bureta de Bunte, después de cada absorción y sobre el mismo volumen de gases.-

Según Rousset es suficiente con conocer el tenor en C O<sub>2</sub> que es el dato más importante en los análisis de los gases de la combustión.- Y como hay casi siempre exceso de aire -que es lo normal- no se debería encontrar sino por excepción C O.- El dosaje del oxígeno nos da el valor del control; pues sabemos que el aire contiene una relación fija de O/N y la formación de C O<sub>2</sub> y de C O que tiene lugar a

//expensas del oxígeno del aires, se debe encontrar en los gases de la combustión la relación ( C O<sub>2</sub> + O ) N (en volúmenes) igual al del aire: pues 1 vol. de O = 1 vol.de C O<sub>2</sub> formado a sus expensas.-

Sobre este principio se han construído muchas tablas que permiten, según el tenor en C O<sub>2</sub> calcular el volúmen teórico corresp. de oxígeno y de ázoe % de gas.-

// Sobrecalentador - superficie 180 m<sup>2</sup> y regulador automático de la alimentación del combustible.-

Naturaleza del tiro.

Chimenea - alto 65 m.

sección superior - 45 m.

espesor super. 0,60 m.

un economizador sistema Green, con una superficie de calefacción total de 1.144 m<sup>2</sup>

-----

Combustible ensayado

" Maíz en grano "

Duración: 6 horas = carga automática

Poder calorífico superior (Kröcker) 3315 C.

" " inferior ~~3315~~ C. 2.949

Cantidad de aire que se emplea para cada kg. de combustible = A

:• cada kg. de combustible dará ( A + 1 ) gases de la combustión; sabemos que el C O<sub>2</sub> contiene en peso 27.27 % de C. y 72.72 de oxígeno.-

Para transformar los 429.5 grs. de carbono que contiene el kg. de maíz empleado ( según nuestro análisis elemental):-

$$\frac{27.27}{72.72} = \frac{429.5}{X}$$

X = 1.145 grs. de oxígeno

y si admitimos que el peso del oxígeno es igual a 1 gr.42 el litro tendremos :-

$$// \quad \frac{1.145}{1.43} = 800 \text{ litros de oxígeno del aire.}$$

pero como hay 337 l. de O proveniente del O del maíz, será:-

$$800 - 337 = 463.-$$

Pero el volúmen de  $C O_2$  formado es igual al volúmen del oxígeno total que lo ha formado:- se habrán producido también 800 l. de  $C O_2$ .-

Y como el aire contiene 21 % de oxígeno y 79 % de ázoe, se necesitará emplear:-

$$\frac{79}{21} = \frac{X}{463} \quad X = 1.741 \text{ litros de ázoe.}$$

que con los 463 litros de oxígeno harán un total de 2.204 litros de aire cuyo volúmen queda invariable.-

Los 59.6 gr. de hidrógeno que contiene el maíz usado por kg. (según nuestro análisis) pesarán 0.089 gr. el litro, o sean 669 litros.-

Pero el hidrógeno quemando con la mitad de su volúmen de oxígeno, se necesitará:-

$$\frac{669}{2} = 334 \text{ litros de oxígeno para formar el agua}$$

Este oxígeno arrastra un volúmen de ázoe igual:-

$$\frac{79}{21} = \frac{X}{334} \quad X = 1256 \text{ l. de ázoe.}$$

Y el total del aire empleado en la combustión del hidrógeno, será:-

$$334 + 1256 = 1590 \text{ litros}$$

// Entonces para oxidar el carbono y el hidrógeno de nuestro maíz combustible, se necesitará:-

2204 litros de aire + 1590 l. para el H o sean 3794 litros, y que comparados a la cantidad de C O<sub>2</sub> ( 463 litros ), dará un tenor de C O<sub>2</sub> de:

$$\frac{3794}{463} = \frac{100}{X} \quad X \approx 12.20$$

Admitiendo los gases llevados en las condiciones de temperaturas y de presión existentes antes de la combustión.- Si la temperatura fuera más elevada, el volúmen cambiaría, pero la relación quedaría igual, pues sabemos que todos los gases se dilatan igualmente.-

Este cálculo dá prácticamente, según Rousset, una aproximación suficiente, pero en realidad, el asunto a veces se complica:- pues además del C O<sub>2</sub> - H<sub>2</sub> O, se forman, por deficiencia:- C O, etc. que será menester tener en cuenta.-

Se puede también tener en cuenta el oxígeno preexistente del combustible: será suficiente para ello quitar del total del oxígeno calculado:-

M<sup>3</sup> 0.699 por kg. de oxígeno encerrado en el combustible (483 gr).

483.3 ( O del maíz por 1 kilogramo)

$$\frac{x \ 0.699}{337,8267} \quad \frac{21 \ (O)}{79 \ (N)} = \frac{334}{X} \quad X \text{ del N} = 1256 \text{ l.}$$

$$\begin{array}{r} 1.256 \\ + \ 334 \\ \hline 1.590 \text{ l.} \end{array}$$

$$\begin{array}{r} // \quad \quad \quad 3.794 \\ \quad \quad \quad - \quad 1.590 \\ \hline \quad \quad \quad 2.204 \quad 1. \end{array}$$

o sean 2.204 litros de aire por kg. del maíz combustible.-

prácticamente se agrega un fuerte exceso de aire combu-  
rente.-

Temperatura de combustión 940° ( Segers ).

1ª) Cantidad de combustible que se quema por hora:  $p = 2.000 \text{ kg}$

2ª) Cantidad de agua vaporizada por hora:  $N = 9.400 \text{ kg}$ .

3ª) Temperatura media del combustible = 18.5 C.

4ª) Temperatura de vaporización:  $T_v = 189.69$  (presión 12.75 at.)

5ª) Temperatura de alimentación:  $T_a = 120^\circ$

6ª) Calorías contenidas en el agua:-

$$a \quad T_v = 192.78 = q_v$$

$$a \quad T_a = 120.81 = q_a$$

7ª) Calor ~~Máximo~~ de vaporización:-

$$a \quad T_v = 475.34 = \rho_v$$

8ª) Cantidad de calor absorbida por kg. de H<sub>2</sub>O vapor:-

$$q_v \quad q_a + \rho_v$$

$$\text{y para } N \text{ kg} = N ( q_v - q_a + \rho_v )$$

$$= 9400 ( 192.78 - 120.81 + 475.34 )$$

9ª) Poder calorífico del combustible:-

$$P = 3315 \text{ C.S.}$$

$$\text{y tendremos:- } R = \frac{N ( q_v + q_a + \rho_v )}{P p}$$

$$\text{o sea :- } R = \frac{9400 ( 192.78 - 120.81 + 475.34 )}{3315 \times 2000} \approx 77 \%$$

// Ahora bien, nuestro maíz combustible tenía 3.315 C.superiores y hemos aprovechado solamente el 77 % o sean 2552,55 C.-

El poder calorífico por el método Berthier nos daba 2942<sup>39</sup> 390 C. más;- en cambio la bomba Kröcker nos da 763 C.; como se ve en la aproximación con el método Berthier, es más conveniente.-

-----

Coefficiente de vaporización

Ya hemos dicho que conociendo el volumen y la temperatura del agua de alimentación, o de vaporización,- la cantidad de combustible utilizado, prescindiendo de las vesículas de agua al estado líquido arrastradas por el vapor, se puede calcular la cantidad de vapor producida por kg. de combustible quemado.-

Si consideramos para dicho coeficiente la temperatura del agua igual a 0° y el vapor a 100 C., tendremos, según la fórmula de Regnault:-

Calor total de vaporización:- Será el calor latente de vaporización más el calor específico del agua, X por la temperatura del vapor; y que aplicado al caso anterior del maíz comb.

$$606.5 + 0.305 \times 187 = 663$$

Calorías aportadas por kg:-

<u>de agua de alimentación</u>	=	120
<hr/>		
Calorías cedidas por kg. de vapor de calefacción	=	543
Calor total de vaporización a 100°	=	637

Entonces por nuestra definición, tendremos:- sabiendo que

// cada kg. del combustible evaporaba 4.70 kg. de vapor a 187° con el agua de alimentación a 120°.

$$\text{Coeficiente de vaporización} = \frac{4.70 \times 543}{637} = 4.00 \text{ kg.}$$

Sabemos que del coeficiente de vaporización y el poder calorífico del combustible, podemos determinar el "rendimiento térmico";- así, relacionando siempre los resultados a 0°

$$P = 3315 \text{ C} \quad \therefore \quad \frac{3315}{637} = 5.20 \text{ vaporización total teórica, y haciendo el "rendimiento teórico" igual a 100, tendremos:-}$$

$$\frac{400}{5.20} = \frac{R}{100} \quad R = 76.92, \text{ y por el procedimiento}$$

industrial anterior encontraremos:-  $R = 77 \%$ .-

La potencia de vaporización :- es la cantidad de agua evaporada por m<sup>2</sup> de superficie de calefacción y por hora;- se determina dividiendo la evaporación en la hora por la superficie de calefacción:-

$$\frac{9.400}{480} = 19.6$$

## Análisis de los gases de la combustión

Temp. de los gases.	CO <sub>2</sub> %	O %	CO %	Saldo de aire %	Presión del aire en mm.	N %
179 <sup>a</sup>	5.6	12.4	0.9	2.2	40	81.10
303 <sup>a</sup>	7.0	12.2	0.2	2.3	75	80.60
235 <sup>a</sup>	7.2	11.8	0.2	2.4	85	80.80
270 <sup>a</sup>	5.8	13.8	0.0	2.8	85	80.40
272 <sup>a</sup>	8.1	11.3	0.1	2.1	85	80.50
269 <sup>a</sup>	8.8	10.7	0.2	2.0	85	80.30
281 <sup>a</sup>	9.5	10.1	0.1	1.9	85	80.30
	t.m.= 7.4		t.m.= 0.24			

Ya digimos que si la combustión se hacía perfecta, la cantidad de C O<sub>2</sub> teórico que se produciría, sería igual a 14.84 % en volumen, en cambio hemos conseguido en el mejor de los casos 9.5 % de C O<sub>2</sub>.

--- Balance térmico ---

<u>Calor utilizado p. la vaporización</u>	2993.90
(en caldera y sobre-calentador-c/kg.evap.4.00 kg. de a vapor y el calor total de vap.es 637)	
- <u>Economizador</u> -	115.80
- <u>Pérdidas</u> -	205.30
	3315.00

//

Análisis de las pérdidas de calor principales

$$= P p - H ( Q_v - Q_a + \rho v )$$

a) humedad higroscópica del combustible : % = h

Ya digimos que la humedad higroscópica además de disminuir el peso neto del combustible, quita calor al hogar.-

Este calor es cedido en pequeña parte en la caja de humo pero la mayor parte lo conserva fuera de su pasaje por el registro - el vapor estará en un estado de sobre-calentamiento, pues está sometido a la presión atmosférica y su temperatura es superior a 100° , cuando pasa por el registro que en n/. caso es 270° . o sean 170° de sobrecalentamiento.- La pérdida de calor es debida a que el agua higroscópica es llevada desde la temperatura ambiente hasta 100° , enseguida para transformarla en vapor, después para elevar la temperatura hasta la disociación que tiene lugar a 1000° C y por último para descomponer el vapor.-

Esta pérdida es muy considerable porque el calor específico del vapor es muy elevada : 0.480.-

La reacción:  $C + H_2O = H_2 + CO$  ya hemos dicho que es de efecto endotérmico - que absorbe 27.724 C.-

Por esto vemos que en vez de mojar el combustible, conviene secar el combustible y comburente.-

Sabemos por el análisis químico, n/. maíz ha sido echado en el fuego a 19° , un kg de vapor de agua habrá conservado:-

// 637 - 19 calorías p.llegar a la vaporización saturada = 618

y para sobrecalentar de 170° =

1 x 170 x 0.48 = 81

total para 1 kg. de humedad 699

Pero la humedad de n/. combustible es 7.48 %, la pérdida real será:-

699 x 7.48 = 52.28 calorías pp kg. de combustible.-  
100

b) humedad del aire comburente:- tiene poca importancia.

Se admite que el oxígeno se encuentra combinado con el H formado.-

Como nuestro maíz contiene 5.96 % en peso de H, será necesario: para quemar 59.60 (gramos por kg.) de este elemento:-

59.60 x 8 = 476.80 gramos de O, formando en total 476.80 x

59.60 = 536.40 gramos de agua, que estarán en las mismas condiciones que el agua higroscópica, y tendremos:-

( 0.405 calor específico del H )

699 x 0.405 = 280 calorías por kg. de combustible.-

-----

//

ENSAYO INDUSTRIAL

( Experiencias efectuadas en la C.F.T.E) Dook Sud.-

Indicaciones relativas a la caldera:-

Tipo: Multitubular de marina de la casa Babcock  
Wilcox L<sup>a</sup>. de Londres.-

Superficie )  
de ) 505 m<sup>2</sup>  
calefacción )

Cámara de combustión, con toberas,  
1/5 con entrada de aire: Superficie 13.6m<sup>2</sup> x = 221,95

Capacidad normal:- 12.700 kg.de vapor a 13 at./370<sup>a</sup>  
por hora.-

Superficie de evaporación:- 480 mts.

" total de la parrilla:- 13.6 m<sup>2</sup>

" " del sobrecalentador:- 135 m<sup>2</sup>

Presión de vaporización:- 12.4 atm.

Combustible ensayado:- "Maíz en marlo" (Duración:- 6 horas)

Poder calorífico Superior 3558 C.

" " Inferior ~~3000~~ C. 2,991

Temperatura de combustión 890<sup>a</sup> (Segers)

1<sup>a</sup>) Cantidad de combustible que se quema por hora:- Kg. 2.000 (p)

2<sup>a</sup>) Cantidad de agua vaporizada por hora = 9.400 kg. (N)

3<sup>a</sup>) Temperatura del combustible = 18<sup>a</sup> 5 C

4<sup>a</sup>) Temperatura de vaporización (total)

(a presión del vapor 12.4 atm) = 191.51 (tv)

5<sup>a</sup>) Temperatura de alimentación = 146.1 (ta)

6<sup>a</sup>) Calorías contenidas en el agua:-

$$// \quad \begin{cases} (t_v) - 191.51 = 194.29 (Q_v) \\ (t_a) = 146.1 = 147.66 (Q_a) \end{cases}$$

7ª) Calor total de vaporización = 472.65 (ρ v)

8ª) Cantidad de calor absorbida por kg. de H<sub>2</sub>O vapor:-

$$Q_v - Q_a + \rho v$$

y para N = N ( Q<sub>v</sub> - Q<sub>a</sub> + ρ v )

9ª) Poder calorífico del combustible:- 3558 C.

Y tendremos:-

$$R = \frac{N ( Q_v - Q_a + \rho v )}{P p}$$

p = 2.000 kg.

agua vaporizada per hora = 9.400 kg.

temperatura de vapor = 187ª C

" " alim. = 120ª C

Calor contenido en el agua á  $\begin{cases} t_v - Q_v = 192.78 \\ t_a - Q_a = 120.81 \end{cases}$

Calor total de vaporización:- 475.34

$$a t_v = \rho v$$

Cantidad de calor absorbido per kg.de H<sub>2</sub>O vapor

$$R = \frac{9.400 (192.78 - 120.81 + 475.34)}{3558 \times 2000} = 77 \%$$

Ahora vemos que solamente se ha aprovechado el 77 % del poder calorífico total, o sean 2739 C.- El poder calorífico superior era 3558 C y el Berthier 2761 C.-

Y además en el cálculo del agua vaporizada no hemos teni-

// do en cuenta las vesículas de agua arrastradas por el vapor;-pero el error es pequeño y además los aparatos "contadores de vapor" excluyendo el agua (según Isart) están todavía insuficientemente estudiados para afrontar con éxito la dura prueba de la práctica.-

Calor total de vaporización:- será el calor latente de vaporización más el calor específico del agua por la temperatura del vapor:-

( 606.5      0.305 ) x 187	=	663
Calorías aportadas por kg.de agua de aliment.	=	120
Calorías cedidas por kg.de vapor de calefacción	=	543
Calor total de vaporización del vapor a 100°	=	637

entonces: por nuestra definición tendremos: sabiendo que cada kgr. del combustible evaporado kg. 4.70 de vapor a 187° con el agua de alimentación a 120° C :

Coefficiente de vaporización =  $\frac{4.70 \times 543}{637}$  = kg. 4.00

"Rendimiento térmico", relacionando siempre los resultados a 0°;- vaporización teórica total: 5.58.

R % = 76.92

Industrialmente obtuvimos el 77 %.-

El coeficiente de vaporización en la marina francesa se hace, como ya lo hemos dicho, dividiendo el poder calorífico por el calor total de vaporización del agua 637 y tomando los 2/3

$\frac{3558}{637}$  = 5.58      los 2/3 = 3.72.- Hemos obtenido con la

fórmula de Regnault = 4.00

// Análisis de los gases de la combustión

Temper. del gas.	% C O <sub>2</sub>	% O	% C O	saldo de aire	presión del aire en mm.
179 <sup>a</sup>	5.6	12.4	0.9	2.2	40
303	7.0	12.2	0.2	2.3	75
235	7.2	11.8	0.2	2.4	85
270	5.8	13.8	0.0	2.8	85
272	8.1	11.3	0.1	2.1	85
269	8.8	10.7	0.2	2.0	85
281	9.5	10.1	0.1	1.9	85

Ya digimos que la cantidad de C O<sub>2</sub> que se produciría ser igual a 14.84 % en volumen - en cambio solo hemos conseguido en el mejor de los casos 9.5 % de C O<sub>2</sub> .--

-----

" ENSAYO INDUSTRIAL "

Caldera:- R. (Babcock Wilcox)

Maderas surtidas

Duración del ensayo:- 8 horas.-

Carga manual

Superficie de la caldera 6 =

510 m<sup>2</sup>

" del sobrecalentador =

180 m<sup>2</sup>

Poder calorífico del combustible =

3558 C.S

Combustible consumido 101.389 kgr/8 ( 11 % de humedad )

por hora / caldera 4.225 kgrs.

agua vaporizada: 250.400 kgrs. ( litros)

por hora / caldera 10.433 kgrs.

temperatura del agua a la entrada del economizador: 33 ° C.

" " " " salida " " : 85°,4 C.

Vapor-tensión (presión) 12,75 atmósf.  $\frac{\text{kgr.}}{\text{centí.}}$

temperatura del vapor de salida del sobrecalentador = 241°,3 C.

temperatura de combustión = 810°

27.5 m<sup>3</sup> de aire ppkgr. de combustible.-

(	O	O <sub>2</sub>	=	8,7	%	)	$\frac{\text{aire necesario} = 1,7}{\text{aire del motor} = 3,8}$
HUMO	(	O	=	8,6	"	)	
(sobrecalentador)	(	C	O	=	0	)	
						(saldo aire = 1,6 )	

un kilogramo de combustible evapora 2,46 kg.

temperatura de vaporización : presión = 12.75 ∴ 192° C 45

calor contenido en el agua: t(a) = 85.4 ∴ t(v) = 85.82

calor total de vaporización:-

12.75 atmósf. = 471°,90

Ensayo con maderas surtidas

quebracho blanco)  
 " colorado) P ( t.m. 3396 Kröcker  
 tala )

a) Cantidad de combustible que se quema por hora:-

$$p = 4225 \text{ kg.}$$

b) Cantidad de agua vaporizada por hora:-

$$N = 10.433$$

c) Temperatura de vaporización:-

$$t_v = ( \text{presión } 12 \text{ at. } 75 ) = 189^{\circ},69$$

d) Temperatura de alimentación:-

$$t_a = 85^{\circ},4$$

e) Calorías contenidas en el agua:-

$$\begin{aligned} \text{á } & \left( \begin{array}{l} t_v = 192.45 = Q_v \\ t_a = 85.82 = Q_a \end{array} \right. \end{aligned}$$

f) Calor de vaporización:-

$$a \ t_v = ( 192.45 ) = 471.90 = \rho \ v$$

$$R = \frac{10.433 ( 192.45 - 85.82 + 471.90 )}{3396 \times 4225} = 42 \%$$

o sean 1426 C.-

El poder calorífico dió, término medio, 3396 C. y el método Berthier 1531 C.-

El Rendimiento tan bajo (42 %) puede explicarse;-la carga era manual, de este modo la pérdida de calor es enorme, cada vez que el foguista abre la portezuela para echar nueva carga de combustible.

Coeficiente de vaporización:- 2.23

" - ENSAYO INDUSTRIAL - "

Caldera Belleville

P E T R Ó L E O

Superficie de la caldera : 480 m<sup>2</sup>  
 " del sobrecalentador: 135 m<sup>2</sup>  
 Duración:- 7 horas 30 minutos.-  
 Poder calorífico del combustible:- 9752 C.G  
 Combustible consumido:- 20.969 Kgs.  
 Por hora / caldera:- 931,9 "  
 Agua vaporizada:- 211.305 "  
 Por hora / caldera:- 9.391 "  
 temperatura entrada economizador:- 21<sup>a</sup> C.  
 " salida " 48<sup>a</sup> C.  
 Vapor-tensión :- 11.9 atmósferas métricas  
 temperatura del vapor salida sobrecalentador:- 273<sup>a</sup>,6 C.

Calor producido:-

Caldera:- 620.82 C.  
 sobre-calentador :- 46.97 C.  
 667.79 C.

HUMO:-

a la entrada del	( O O <sub>2</sub> =	2.5	%
sobrecalentador	( O =	17.0	"
	( C O =	0.2	"
	( saldo aire=	4.8	"
a la salida del	( C O <sub>2</sub> =	<del>4.0</del>	3.0 %
sobrecalentador	( O =	<del>17.0</del>	15.8 "
	( C O =	<del>0.2</del>	3.7 "
	( saldo aire=	<del>4.8</del>	3.7 "

PETROLEO (suite)

Vaporización:

Un kilógr. de combustible evapora = 10,077 Klgr.  
 ( y reducido a vapor y 100° )  
 y el agua a 0° (637) } = 10,911 "

P E T R O L E O

a) Cant. de comb. que se quema por hora:

p = 931.9 Kg.

b) Cant. de agua vaporizada:

N = 9.391 Kg.

(cada Kg. de combustible vaporiza 10 Kg. de agua).-

c) Temp. de vaporización:

t<sub>v</sub> = (11.9 at.) = 186.50 = C.

d) Temp. de alimentación:

t<sub>a</sub> = 48° C

e) Calorías contenidas en el agua:

a t<sub>v</sub> = 188.90 = 9 v

t<sub>a</sub> = 48.30 = 9 a

f) Calor(latente) de vaporización:

a t<sub>v</sub> = 473.50 = C v

g) Cant. de calor absorb. por Kg. de H<sub>2</sub>O vapor para 9391 Kg.

P = 9752 C

//

$$R \% = \frac{9391 ( 188.90 - 48.30 \quad 473.50 )}{9752 \times 931.9} = 64 \%$$

ENSAYO INDUSTRIAL

Carbón de Cardiff

<u>Caldera</u>	}	superficie de la caldera :	425 m <sup>2</sup>
		" del recalentador:	140 m <sup>2</sup>
<u>Steinmüller:</u>	}	Duración :	24 horas
		5 calderas :	carga automática

Poder calorífico del carbón: 7800 C. S.  
 carga total : 104.800 Klgr.  
 carga /p. hora: 4.360 "  
 agua vaporizada en total : 1.028.050 Kgr.  
 " " por hora : 42.800 "  
 temp. antes del economizador: 55° C  
 " después" " : 135° C  
 Presión 12 atmosf. (Kgr./cm)  
 temp. del sobrecalentador : 270° C  
 temp. de combustión más de 1500° C

Calor producido:

caldera:	534.0 C
sobre calentador:	<u>44.5 C</u>
	578.5 C

Humo:

a la entrada del	{	C O 2	14 %
sobre calentador			
salida del	}	C O 2	11 %
sobre calentador			

//  
 Temperatura antes del economizador : 300° C  
 " después " " : 180° C  
 " del aire : 25° C  
 temp. media del humo : 160°.-

Vaporización:

1 Kgr. de carga vaporiza 9.81 Kgr. de agua

Balance térmico:

Calor utilizado para la vaporización:

1) en caldera	5.240 C	-	67.20 %
2) en sobrecalentador	436 C	-	5.60 %
3) en economizador	<u>785 C</u>	-	<u>10.00 %</u>
	6.461 C	-	82.80 %

Pérdidas

en el humo	718 C	-	9.20 %
cenizas, etc	<u>621 C</u>	-	<u>8.00 %</u>
	7800 C	-	100.00 %

Temp. de vaporiz = presión : 12 atm. = 189°59

Calor contenido en el agua: ( $t_a = 135$   $t_v$ ) = 136.10

Calor total de vaporización

12 atmos. = 473°92

Ensayo carbón de Cardiff

a) Cant. de comb. que se quema por hora:

// p = 4.360

b) Cant. de agua vaporizada por hora:

N = 42.800 P = 7800 C

( 1 Kg. vaporiza 9.81 Kg. de agua)

c) Temp. de vaporización:

presión 12 at. = 186.99 = t<sub>v</sub>

d) Temp. de alimentación: = 180<sup>o</sup> = t<sub>a</sub>

e) Calorías contenidas en el agua:

a t<sub>v</sub> = 189.59 = 9 v

t<sub>a</sub> = 182.35 = 9 a

f) <sup>Temp.</sup> ~~Rate~~ de vaporización:

a t<sub>v</sub> = ( 189.59 ) = 473.92 = C<sub>v</sub>

g) Calor total absorb. por 42.800 Kg. de H<sub>2</sub>O vapor.

R =  $\frac{42.800 ( 189.59 - 182.35 ) + 47.392}{7800 \times 4360}$

R % = 82 <sup>80 %</sup> - o sean 6458 C utilizadas en la caldera que es el porcentaje que vamos a adoptar.-

El poder calorífico superior era 7800 C

" " " Berthier 6695

El calor utilizado fué el 82 80 % del total 7800 C o sean 6458.- Como vemos también en este caso el método Berthier no conviene.-

Análisis químico del carbón de Cardiff usado

Color - negro brillante	Humedad	-	0,69
textura- compuesta cristalina	Mat. volát.	-	11,65
Color de la raya- negra	Cenizas	-	4,56

//

R.de los vapores - ácida alcalina	Cas fijo	-	83.10
	Coke	-	89.66
	S. Total	-	0.74

Aspecto del coque: -	pulverulento
arde con llama corta -	opaco
P. C. S. (Kröcker) -	7800 C
P. C. (Berthier) -	6695 C

Poder evaporante teórico -	8.16
" " práctico -	<del>9.18</del> 7.39

Balance término - de la operación industrial efectuada:

Calor utilizado para la vaporización:

a) en caldera --	5240 C	-	67.20 %
b) en sobrecalentador -	436 C	-	5.60 %
c) en economizador -	<u>782 C</u>	-	<u>10.00 %</u>
	6458 C	-	8280 %

Pérdidas totales:

Humo -	721 C	9.20 %
Cenizas, etc. -	<u>621 C</u>	<u>8.00 %</u>
	7800 C	100.00 %

	P.C.S	P.C.I.	Berthier	Rendimiento		Poder
				práct100	Vaporizador.-	
<u>MAIZ</u> ( grano ( marlo	3.315 C 3.558 C	2949 <del>2.774</del> C 3.192 <del>2.739</del> C	<del>2.774</del> C 2.761 C	2.552 C. ( 77 %) 2.739 C. ( 77 %)	4.00 kg. 4.00 "	
(carga mecánica) ----- ( Quebracho MADERAS ( blanco y SURTIDAS ( colorado, tala (carga manual)	3.396 C t/m.	2.991 <del>2.100</del> C.	1.531 C	1.426 C. ( 42 %)	2.25 "	
----- <u>PETROLEO</u> (carga mecánica)	9.752 C	4081 <del>3.000</del> C.	-----	6.241 C. ( 64 %)	9.67 "	
----- <u>HULLA</u> (carga mecánica)	7.600 C	7.611 <del>7.000</del> C.	6.695 C	6.458 C. (82.80%)	7.39 "	

-- COMBUSTIBLES --

ANALISIS QUIMICO ELEMENTAL E INMEDIATO

M A I Z		M A D E R A S		PETROLEO	HULLA
en grano	marle	quebr. blanco	colorado y tala		
C = 429,5	--	44,44 t/m	--	78,13	91,70
H = 59,6	--	6,17 "	--	12,01	3,43
O = 492,2	--	48,23 "	--	4,63	4,16
N = 18,7	--	1,16 "	--	1,13	0,71
		quebr. bl.	quebr. color tala	51-90	
Humedad - 7,48	7,47	12,10	10,50	3,86	H. 0,69
mat, vol, 70,70	70,51	8,60	15,20	--	mat, vol. 11,65
C, fijo 20,35	20,62	75,30	71,95	--	C, fijo 83,10
Cenizas 1,45	1,40	4,00	2,35	5 0.24	Cen, 4,56
Coque <del>Blanco</del>	22,02	79,50	80,50		Coque 82,66
					S 0,74

7,47  
1,45  
2  
18

19 80

7400

- CONCLUSIONES -

a) El E"ensayo de vaporización industrial" -a nuestro modo de ver- proporciona el criterio más efectivo para ensayar los combustibles, bajo el punto de vista de su "rendimiento práctico" y "poder vaporizador"; valorando además la "capacidad-térmica productora" de la instalación en que la efectuemos;- nos dará a conocer también: las "pérdidas térmicas" que tuvieren lugar, y por lo mismo, poder evitar todas las "pérdidas evitables";- nos permitirá seleccionar los combustibles con un criterio más completo que con el ensayo calorimétrico, debido a que nos dice cuanto cuesta la "tonelada de vapor producida";- podemos también por él: ensayar un nuevo "régimen térmico", "parrillas", "métodos de calefacción comparada", llegar hasta saber la habilidad de un foguista y compararla, y poder formular "balances térmicos".-

b) Para combustibles con gran cantidad de materias volátiles, se hace necesario una "coqueificación-prévia", porque actualmente es imposible aprovecharlas, por deficiencia de las modernas instalaciones, y es debido a esta causa que el método de la bomba calorimétrica, a pesar de ser tan exacto, no nos proporciona datos satisfactorios, respecto al "valor térmico-real" de los combustibles.-

c) El método Berthier, a pesar de su empirismo y de todos sus defectos: es el que más se aproxima a la realidad industrial y por lo mismo satisface, y nos proporciona el mejor dato para aplicarlo a los generadores de vapor, aún tratándose de combustibles de emergencia.-

- BIBLIOGRAFIA -

Dejust.B.C.T.P.- Chaudières a Vapeur.-

Berthelot.- Calorimetrie Chimique.-

Ser.- Physique Industrielle.-

Izart.- Les méthodes économiques de la combustion.-

Chwolson.- Traite de Physique.-

J.Post et Nuemann.- Traité complet d'analyse chimique.-

A.Meurice.- Analyse quantitative de matières minerales.-

Scheurer Kestner.- Pouvoir calorifique des combustibles.-

La Hütte.- Règles pour les experiences de rendements de chaudières  
et machines a vapeur.-

V.Villavecchia.- Trattati de química analítica aplicada.-

Roussel et Chaplet.- Le controle chimique de la combustion.-

Celomer et Cordier.- Les combustibles.-

Sidersky.- { Consomation et economie de combustible.-  
Essais des combustibles.-

D'Amour, Carnot et Rengade.- Les sources de l'energie calorifique.-

Manuel del Ingenieur.- "Combustibles".-

Guareschi.- Enciclopedia di Química.-

H. de la Coux.- L'eau en l'industrie.-

H.Schoentjes.- Cours de Physique experimental.-

H.C.Jones.- Trattato di Chimica-Física.-

Boletín Ministerio Agricultura.- E.Hermite.Tomo XIV-Nº 10.-Octubre  
de 1912.-

Journal of the Society of Chemical Industry.- October 15-1919:-

"Calorific value of commercial coke and coke "breeze".K.Norton.

Gas World, 1919 - 71, 165.-

11

Coking of Illinois coal in Koppers type oven ( R.S.McBride and  
W.A.Selvig) 1919 - 21, 122.-

Wurtz.- Dictionnaire de chimie.-

Congreso científico internacional americano.-1910.- II Tomo.-

Congresso internazionale di chimica applicata. Roma - 1907.-

International Congress of applied Chemistry. London - 1909.-

Original communications eighth international Congress of applied  
Chemistry. Washington - 1912.-

-----  
P. Landeira

Diciembre 12/ 1919

Pase a la Comisión Examinadora  
N° 22 para que se sirva estudiar la pre-  
sente tesis

V. del Real

Diciembre 22 de 1919  
La Comisión Examinadora  
n° 22 ha tomado en  
consideración la tesis del

" I N D I C E "

-0-

Prefacio	Pág.	5
<u>Combustión:-</u> Aspecto químico industrial	"	6
<u>Combustibles:-</u> Combustibles y comburentes	"	30
El Comburente	"	36
Gases de la combustión	"	43
Rendimiento térmico y pérdidas térmicas	"	51
Otras pérdidas	"	57
El agua de alimentación de las calderas	"	62
Balace térmico	"	66
Elección del combustible	"	69
Calor de combustión	"	71
Poder Calorífico	"	86
<u>Ensayo Industrial:-</u>		
a) Maíz en grano	"	117
b) " " marlo	"	126
c) Maderas surtidas	"	130
d) Petróleo	"	132
e) Carbón Cardiff	"	135
Resúmen ( Cuadros )	"	139
" "	"	140
Conclusiones	"	141
Bibliografía	"	142

-----  
-----  
-----  
--