



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

DISEÑO DE UNA PRACTICA DE LABORATORIO SOBRE CALDERAS Y VAPOR.

T E S I S

Que para obtener el título de:

INGENIERO QUIMICO

p r e s e n t a :

ANGEL MARCOS GONZALEZ HERRERA



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Tesis 1977
... ~~M-183~~ 186
ECHA _____
ROC _____
• _____



QUIMICA

JURADO ASIGNADO

PRESIDENTE	PROF. CUTBERTO RAMIREZ CASTILLO
VOCAL	PROF. GRACIELA MARTINEZ ORTIZ
SECRETARIO	PROF. CARLOS BAZAN VILLEGAS
1er.SUPLENT	PROF. LUCILA MENDEZ CHAVEZ
2do.SUPLENT	PROF. JESUS TORRES MERINO

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA
LABORATORIO DE INGENIERIA QUIMICA

SUSTENTANTE

ANGEL MARCOS GONZALEZ HERRERA

ASESOR DEL TEMA

I.Q. CARLOS BAZAN VILLEGAS

SUPERVISOR TECNICO

I.Q. JESUS TORRES MERINO

A MIS PADRES, A QUIENES
DEBO LO QUE SOY, CON
DEVOCION Y CARINO

A MI ESPOSA, POR SU
AYUDA Y COMPRESION,
CON TODO MI AMOR

A MIS HIJOS, ANGEL
Y MAURICIO, CON TERNURA

A MIS QUERIDOS HERMANOS
CON INFINITO CARIÑO

A MIS TIOS EVARISTO Y CUQUI
CON MUCHO CARIÑO

A MI TIA NARCISITA
CON CARIÑO

AGRADESCO SINCERAMENTE LA
AYUDA PRESTADA A LA
ELABORACION DEL PRESENTE
TRABAJO, A :

ING. CARLOS BAZAN ← GUEY
SR. MIGUEL CASTILLO
A MI HERMANO GONZALO
A MI ESPOSA JUANITA

IV

C O N T E N I D O

CAPITULO I.- OBJETIVOS

CAPITULO II.- CALDERAS

- A.- Generalidades sobre calderas
- 1.- Su importancia
- 2.- Especificaciones
- 3.- Clasificación
- 4.- Definiciones
- 5.- Costos
- 6.- Eficiencia
- 7.- Calderas de Construcción Nacional

CAPITULO III.- DESCRIPCION DE LOS APARATOS

- 1.- Caldera del Laboratorio de Ingeniería Química.
- 2.- Calorimetro Isoentalpico
- 3.- Calorimetro de Barril
- 4.- Analizador de Gases Orsat Hays
- 5.- Vapor
- 6.- Sistema de vapor del Laboratorio de Ingeniería Química.

CAPITULO IV.- COMBUSTION Y COMBUSTIBLES

- A.- Generalidades
- 1.- Combustión
- 2.- Aire
- 3.- Carbón Coke
- 4.- Calidad del Carbón
- 5.- Poder Calorifico de un Carbón
- 6.- Aire en exceso
- 7.- Combustibles Líquidos
- 8.- Combustibles Gaseosos

V

- 9.- Balance de Energía
- 10.- Eficiencia Térmica
- 11.- Balance de Materia

CAPITULO V.- EXPERIMENTACION

- 1.- Análisis de Gases
- 2.- Calidad de Vapor
- 3.- Balance de Materia
- 4.- Balance de Energía

CAPITULO VI.- DATOS RESULTADOS Y CONCLUSIONES

CAPITULO VII.-DISEÑO DE LA PRACTICA

CAPITULO VIII.- BIBLIOGRAFIA

CAPITULO I

OBJETIVOS

I.- OBJETIVOS

Siendo una caldera, muchas veces el " corazón " de una planta química y habiendo tan diversos tipos, tamaños y especificaciones de las mismas, así como tener al alcance de la mano distintos y variados combustibles, es muy conveniente que el estudiante de Ingeniería Química, al convertirse en profesional lleve un conocimiento, al menos de carácter general, de lo que es y comprende un aparato de esta naturaleza.

Es muy frecuente que el recién egresado de la carrera se encuentre con problemas para él de mucha dificultad y los cuales se simplificarían en gran parte si se llevaran conocimientos sobre calderas y sus partes fundamentales.

Es por esto que el presente trabajo lleve, como objetivos, los siguientes:

- 1.a) Que el alumno adquiera conocimientos generales sobre diversos tipos de calderas.
- 2.a) Que el alumno realice balances de materia y energía en la caldera del Laboratorio de Ingeniería Química y con el combustible que se emplea.
- 3.a) Que realice los experimentos correspondientes con un analizador de gases Orsat.
- 4.a) Que identifique el ramal de vapor, sus partes principales y accesorios, así como su funcionamiento.
- 5.a) Que interprete y reconozca el ramal de vapor en un plano de Ingeniería.

Por lo tanto, esta tesis presenta varios enfoques que pueden hacer cumplir los objetivos anteriores.

- 1.b) Un carácter consultivo y/o recordatorio de lo que representa una caldera en algunas industrias.
- 2.b) Un carácter de reconocimiento y/o identificación de las partes principales de la caldera del Laboratorio de Ingeniería Química de esta Facultad.

CAPITULO II

CALDERAS

II.A.- CALDERAS

Una caldera es un aparato cuya función específica es la de producir Vapor a partir de agua. Consta fundamentalmente de dos partes: Un lugar donde se lleva a cabo la combustión llamado Horno u Hogar de la caldera y un lugar donde se lleva a cabo la generación de vapor llamado Hervidor o Cuerpo de la caldera.)

El término CALDERA se usó formalmente para cubrir de una manera adecuada el conjunto propio de la caldera y las otras partes que se relacionaban estrechamente con el funcionamiento de un generador de vapor. Más tarde el término UNIDAD CALDERA también se aplicó a este conjunto cuando se incluyeron aparatos de absorción de calor, los cuales se diseñaron con un solo propósito: la conversión interior de una sustancia en estado líquido a una en estado vapor. El término GENERADOR DE VAPOR, entonces, pasó a ser únicamente para conjuntos mucho más grandes.

En la forma más común de una unidad generadora de vapor, los elementos de transmisión de calor son muy distintos y con frecuencia se construyen por separado, muchas veces hechos por diferentes fabricantes y no se conectan entre sí hasta que se ensamblan en el lugar de su destino.

En unidades de esta especie, la Caldera es un cuerpo simple claramente definido, y como tal se le trata separadamente en la Bibliografía.

La estructura de una caldera está compuesta principalmente de tubos de fierro o de acero y de uno o más cascos o cubiertas cilíndricas, llamados tambores o domos, que están unidos a un mismo tiempo y directamente a otros elementos por medio de cabezales. Los tubos, comúnmente, son de 2 a 4 pulgadas de diámetro externo; están concetados a las otras partes insertando sus extremos a las perforaciones taladradas de una placa o cabezal y expandidos -rolados-, al final, lo suficiente para poder formar empalmes bastante herméticos.

Los tambores se construyen comúnmente de placas de acero, las cuales hace algunos años, se unían por juntas remachadas pero en la actualidad se sustituye lo anterior por medio de "costuras de soldadura" y cuando se usan a presiones elevadas, los tambores se forjan sólidamente.

Las placas, que presentan superficies grandes y que están sujetas a altas presiones, deben ser de gran espesor o si son delgadas deben reforzarse por diferentes métodos, tales como usar tornillos reforzados, varillas reforzadas, hierro reforzado o cinturones metálicos igualmente reforzados.

II.1.- SU IMPORTANCIA

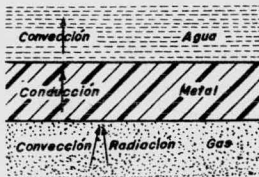
Podemos considerar que la importancia de estos aparatos se extiende a todas o casi todas aquellas ramas de la industria en donde se hace necesaria la generación de energía, exceptuando, desde luego, el ramo nuclear.

Generalmente la caldera se usa en procesos donde se requiere intercambiar calor en equipos diseñados para tal efecto. La caldera genera vapor para procesos de Evaporación donde el vapor producido se usa como medio de calentamiento en dichos equipos. En Destilación, para llevar una mezcla hasta su punto de ebullición. En reacciones Endotérmicas que requieren de calor para poder llevarse a cabo, tales como las que se efectúan en los reactores catalíticos. En los procesos de Secado como medio de calentamiento del aire que ha de transportar la humedad y en las superficies de calentamiento de los secadores de charolas, se emplea vapor generado por la caldera.

Es importante decir que la caldera es el equipo de más bajo costo para producción de energía y es el equipo que más fácil la produce. Es de grandes capacidades de vapor; son los equipos de más alto rendimiento; de costo de mantenimiento bajo y es el equipo que se encuentra en el mercado en muy diversos tamaños, clases y precios.

Dentro de los puntos importantes que se deben tratar al hablar de calderas, se pueden mencionar los siguientes:

a) El calor debe transmitirse desde la flama en el hogar de la caldera, hasta el agua en el hervidor, cuando el vapor se está generando. Dentro de esta transmisión se utilizan tres métodos: Radiación, Conducción y Convección.



b) La resistencia a la transferencia de calor desde la flama hasta el agua, debe ser mínima. Una gran parte de esta resistencia se debe al estancamiento de una capa de gas que se adhiere a la superficie de calentamiento, por lo que debe provocarse siempre un movimiento rápido en los gases que pasan a través de la cámara de combustión. Dicho movimiento impartido a la masa gaseosa, puede de esta forma, remover el gas estancado, - por lo que la transferencia de calor por convección se mejora.

c) El estancamiento del agua, contigua a la superficie de calentamiento, evita el flujo libre de calor hacia las masas de agua en el hervidor.

d) El espacio para el vapor en un generador de vapor, es el espacio que queda por encima del nivel del agua en el o los domos. Dicho espacio debe tener el suficiente volúmen para permitir la completa separación entre vapor y agua. Cuando el vapor fluye intermitentemente en la caldera, el espacio para - el vapor debe ser mayor que cuando fluye continuamente.

e) Para conocer la superficie de calentamiento de las calderas, solamente la superficie que está expuesta al

fuego por un lado, y al agua por otro, es la que debe considerarse. Como base de cálculo debe usarse el diámetro interno para tubos de humo y el diámetro externo para tubos de agua.

f) La calidad del vapor es el porcentaje de vapor de agua, distinto de la humedad, que está presente en el peso total del vapor. Ordinariamente una caldera genera vapor que contiene de 1 a 3% de agua. La calidad de vapor promedio en la práctica, es de 97 a 99%. La calidad del vapor puede determinarse haciendo mediciones con un calorímetro de vapor.

g) El vapor recalentado es un vapor que tiene una temperatura más alta que la del agua hirviendo a una presión igual a la presión del vapor. Un vapor saturado siempre tiene la misma temperatura que la del agua hirviendo con la cual se ha generado. Si el calor se comunica al vapor saturado subsecuentemente al que emerge al contacto con el agua, entonces se torna en un vapor recalentado.

II.2.- ESPECIFICACIONES

a) Lo satisfactorio o apropiado de una caldera está determinado por su diseño, tamaño y dimensiones y puede mostrarse tal y como lo permita el cuerpo simple que va a forzarse a un grado tal y necesario que satisfaga no solamente la carga máxima usual de vapor, sino también las demandas de emergencia que en un momento puedan surgir. Debe tomarse en cuenta el horno con el combustible apropiado a quemarse; las características del agua alimentada; la corriente de aire aprovechable; la forma de la caldera para adaptarse a las diferentes clases de rejillas; los alimentadores de combustible; tipos de quemadores usados al tamaño y proporción del horno y por último sus combinaciones con el precalentador, el economizador, el recalentador y la pared de agua, elementos todos que se incluyen en la unidad.

b) La seguridad y durabilidad de una caldera depende fundamentalmente del diseño del aparato, los materiales

y mano de obra empleados en su construcción. No solamente las partes deben ser capaces de resistir, con amplio margen de seguridad la presión normal del vapor y la temperatura a la cual están sujetas, sino también al acomodo de los elementos que comprenden la unidad y los métodos de sostén o suspensión de la estructura que deben evitar esfuerzos o tensiones inducidos por la desigualdad en la expansión y contracción que acompaña a la variación de la temperatura. En algunos casos el uso de tubos curvos proporcionan un considerable grado de flexibilidad a la estructura y proporciona la resistencia adecuada en las diferentes expansiones. Esto no debe ocurrir en las placas de gran espesor o en otras partes gruesas, como tampoco en partes en salientes o el borde de la placa expuesta al impacto de la flama o a una radiación intensa.

c) Los materiales, diseños y construcción de las calderas y sus elementos, deben cumplir, al menos con las especificaciones de el "Codigo de Interpretación de Calderas" en los cuales la ASME prepara y revisa frecuentemente y los cuales se han adoptado como requerimientos legales.

d) El acceso a todas las partes de la caldera es importante para su inspección, limpieza y reparaciones. Las calderas deben dotarse de puertas colocadas adecuadamente para llegar a todas las partes de la superficie de calentamiento y la estructura de la caldera debe tener registros de inspección situados convenientemente y perforaciones manuales o tortugas, que permiten el acceso a las partes interiores.

Las calderas se diseñan para su limpieza interna conociendo en número de aberturas o tortugas, y el tiempo requerido para dicha limpieza y para enfriar la caldera y su estructura.

La limpieza externa de los tubos de una caldera de tubos de agua o tubos de humo y la eliminación y el desprendimiento de cenizas y de la costra interior de los tubos de humo, debe realizarse por medio de corrientes de aire comprimido o de vapor y ayudado de escobillones que pueden atravesar toda la

caldera, entrando o saliendo por la parte delantera o la trasera de la misma.

El diseño de la caldera debe ser de tal manera accesible que permita que las reparaciones se efectúen con facilidad. Debe permitir, además, la eliminación o sustitución rápida de alguno de los tubos sin dañar a los demás.

e) La circulación de agua en la caldera depende de la circulación natural de la misma dentro de ella debe ser ilimitada, tal como se muestra en las figuras 2-1 a y b.

El calor deberá aplicarse en tal forma en los aparatos que utilizará y mantendrá un adecuado valor de flujo sobre ciertas condiciones de operación.

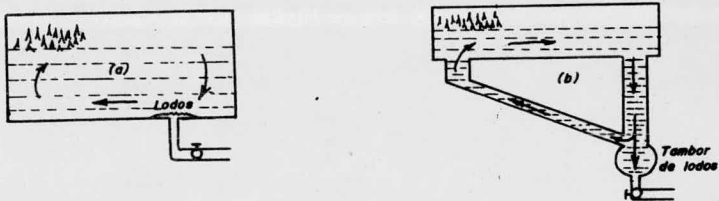


FIG. 2-1

f) El paso de los gases a través de la caldera debe ser en tal forma que mantenga una velocidad apropiada los mismos, ya que deben avanzar a lo largo de la caldera sin contracción o expansión brusca. Dentro de ciertos límites, la velocidad mayor será la del calor transmitido a la superficie de calentamiento y también será la que representa la cantidad de evaporación desde la superficie hasta la parte superior.

g) Siempre es deseable que una caldera produzca un vapor lo más seco posible y la superficie de liberación del vapor debe ser también lo más amplia posible para lograr lo anterior. Cuando el agua contiene ciertas impurezas, puede producirse una espuma y esto hará que la humedad del vapor se incremente. Fre

cuentemente se coloca, dentro de la misma caldera "tubos de secado", para separar la humedad.)

h) La cantidad de agua en una caldera afecta diversos renglones. Si la caldera contiene un volúmen grande de agua la atención que requiere es menor a la que se le dá cuando el nivel es inferior, pues la caldera contiene una gran reserva de vapor para satisfacer la demanda repentina del mismo.

i) La introducción de agua alimentada a la caldera debe ser de manera que no retarde la circulación del agua dentro de ella y si el agua es fría, no debe permitirsele entrar en contacto con la pared de la caldera. Algunas impurezas que pueden encontrarse en solución a la entrada del agua, precipitan -- cuando la temperatura se eleva y alcanza a depositarse como lodo de tal manera que el agua debe introducirse al punto de diseño de la caldera así el precipitado se depositará y podrá retirarse fácilmente con lo que hace un daño mínimo a la caldera.

j) El espacio ocupado por una caldera es parte importante en el costo de una planta. Se tiene que sumar a la superficie que ocupa la caldera, el espacio del cual debe estar provisto para la limpieza y el reemplazo de los tubos. Las calderas verticales son las que menos espacio ocupan. Las puertas, ventanas y ventilas, serán del tamaño adecuado y se localizarán en las paredes de la construcción en las posición que en un momento dado los tubos de la caldera puedan pasarse por ellas cuando sean necesarias las reparaciones.

k) El costo, siempre es un renglon importante. Además del costo de la caldera, el de instalación, el de los accesorios y el de transportación, es necesario considerar los gastos de conservación y reparación, así como el costo del terreno y la construcción civil que requiere la caldera.

II.3.- CLASIFICACION

Los diseños comerciales de calderas toman diferentes formas, las cuales se han ido desarrollando con un alto grado de confiabilidad como resultado de la larga experiencia a la que se someten las calderas bajo amplias y variadas condiciones de operación y ahora se les considera "unidades tipo".

a) La clasificación de las calderas puede ser simple o compleja, puesto que los factores con los que se distingue una caldera de otra, no solamente incluye los detalles de cada una, sino también la relación de mantenimiento por el lugar - donde se encuentra instalada.

b) No es conveniente emplear la presión de va por como base para clasificar las calderas, pues una presión que puede considerarse alta en un tipo, puede considerarse mediana o baja presión en otros. Consecuentemente los términos "alta presión", "mediana presión" y "baja presión" se pueden usar solamente como medio de comparación dentro de un campo particular de servicio. El valor absoluto de la presión de vapor se determina por los diseños del equipo.

c) Otras formas de clasificación son por su diseño y construcción; sistema de calentamiento; aplicación, etc. pero para propósitos de discusión, lo más práctico es clasificarlas en dos grandes grupos: Calderas de tubos de humo y Calderas de tubos de agua.

RESUMEN

CALDERA	{	Hogar.- Lugar donde se lleva a cabo la combustión.
		Cuerpo de la Caldera.- Lugar donde se lleva a cabo la generación de vapor

HOGAR DEPENDE	{	Combustible: carbón, aceite, gas, petróleo, diesel.
		Formas en que se admite el combustible

{	por medio de una parrilla
	por medio de un ciclón
	por atomización

CALDERA	{	Tubos de humo para bajas presiones de vapor
		Tubos de agua { Rectos Curvos
	{	Tiro { Inducido con succionador a la salida Forzado, con ventilador a la entrada

II.4.- DEFINICIONES

a) Calderas de Tubos de Humo.

La caldera de tubos de humo es más antigua que la caldera de tubos de agua, pero aún en la actualidad tiene un lugar bien definido en la industria y un campo de utilidad muy amplio. Su construcción limita su tamaño y presión de operación; las calderas de tubos de humo estacionarias, raras veces se construyen para presiones mayores de 150 psig o para capacidades superiores a 15,000 libras de vapor por hora. Raramente se operan a 150% de su capacidad.

Las calderas de tubos de humo pueden ser calentadas interna o externamente. Las calentadas internamente tienen el hogar integrado a la estructura interior de la caldera y las calentadas externamente tienen el horno construido fuera de la coraza.

Las calderas multitubulares o con retorno tubular horizontal, figuras 2-2, 2-3, 2-4, 2-5, sustituye unos cuantos tubos de diámetro grande por muchos de diámetro comparativamente pequeño.

Las ventajas de las calderas tubulares de retorno son: Tienen la mayor capacidad de evaporación en proporción con su volumen; esto se cumple independientemente de que sean calentadas interna o externamente. El agua contenida en una caldera de este tipo se divide en delgadas corrientes que circulan en contacto con un sinnúmero de tubos, por lo tanto, el calor se transmite simultáneamente a toda la masa de agua. Generalmente es el tipo más económico de caldera de tubos de humo.

Sus desventajas son: es el tipo más propenso

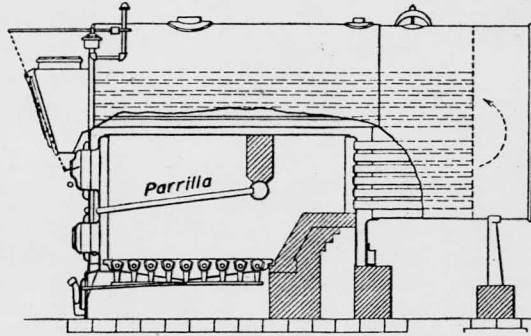


Fig 2-2 Caldera de Tubos de Humo con Tiro de Aire.

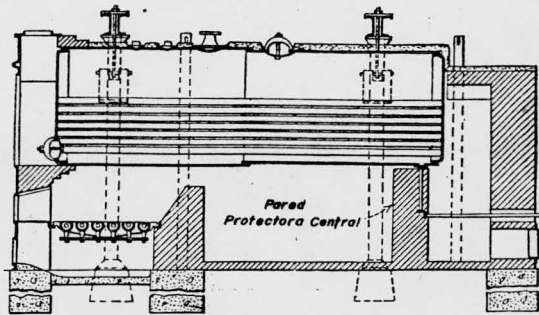


Fig 2-3 Caldera de Tubos de Humo, Retorno Tubular.

CALDERA MULTITUBULAR

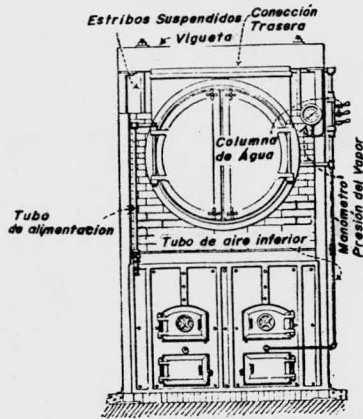


Fig 2.4 Vista Frontal.

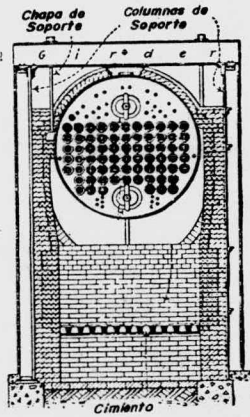


Fig 2.5 Corte Transversal del Horno.

a explosiones. Las costuras circulares de las placas están expuestas a la acción directa del fuego, desventaja común para todos los modelos calentados exteriormente. El gas de combustión tiende a producir cortos circuitos en las hileras superiores de los tubos. El hacinamiento de tubos en el espacio para el agua tiende a impedir la circulación de ésta.

El mantenimiento para las calderas de tubos con retorno es meramente asunto económico, pues para algunos puede ser el servicio de tipo más económico, pero para otros puede no serlo.

Ordinariamente, estas calderas no se construyen para presiones de vapor superiores a 150 psig o para capacidades mayores de 200 CC.

La experiencia ha mostrado que el metal que está arriba del fuego en la coraza, no debe exceder cierto espesor, pues al ser muy delgado éste, las placas se deterioran fácilmente debido al sobrecalentamiento y a la cristalización. Estas limitaciones de espesor en la placa determina la presión y la capacidad en la construcción de la caldera.

a.1) Caldera tipo Marino Escocés.

La caldera tipo escocés está adaptada para instalarse en plantas estacionarias y es una caldera de tipo popular donde su compactibilidad es una consideración primordial; es una caldera de evaporación rápida; ocupa poco espacio y muestra una gran economía. Su construcción se muestra en la figura 2.6. El hogar de la caldera es corrugado, por lo que proporciona la máxima potencia a la caldera. El cuerpo de la caldera reposa en los soportes S_f y S_r . El soporte trasero S_r corre sobre unos rodillos que se colocan para permitir la libre expansión longitudinal de la caldera. Por construcción, la parte posterior externa de la caldera es mucha más simplificada. El interior es de fácil acceso para su limpieza. Frecuentemente se usa en instalaciones tempora-

les y en espacios pequeños y también puede transportarse fácilmente.

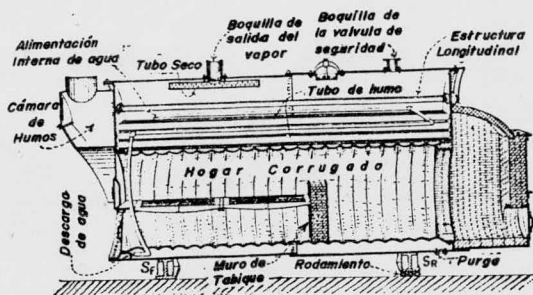


Fig. 2-6 Vista Interna del Hogar de una Caldera Multitubular.

La forma verdadera de la caldera tipo Escocés, es un tambor que soporta el agua, como se muestra en las figuras 2-7 y 2-8. Algunas de estas calderas ocupan probablemente menor volumen por unidad de fuerza desarrollada que algunas de otro tipo que se instalan en lugares donde el espacio debe aprovecharse al máximo.

Estas calderas se han construido con cuerpos de diámetros superiores a 20 pies, siendo el diámetro usual entre 10 y 15 pies y su longitud de 7 a 11 pies. En un diámetro relativamente grande, se tienen de 2 a 4 quemadores en la caldera. Los gases de combustión pasan desde el hogar hasta la parte trasera de la caldera, por lo cual fluyen a través de pequeños grupos de tubos hasta la chimenea colocada en la parte de enfrente. La seguridad de estas calderas es bien conocida, debido al cuidado a que se somete cuando está inactiva, pues las superficies expuestas a la combustión se limpian abriendo los cabezales externos, el cuerpo posterior, etc. El cuerpo posterior se asegura a la caldera en

CALDERA TIPO MARINO ESCOCES.

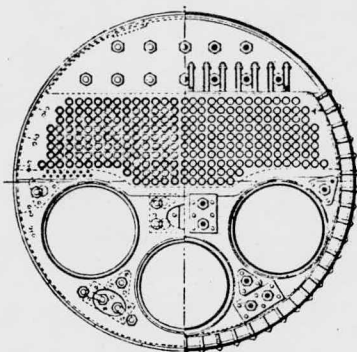


Fig 2-7 Sección Transversal.

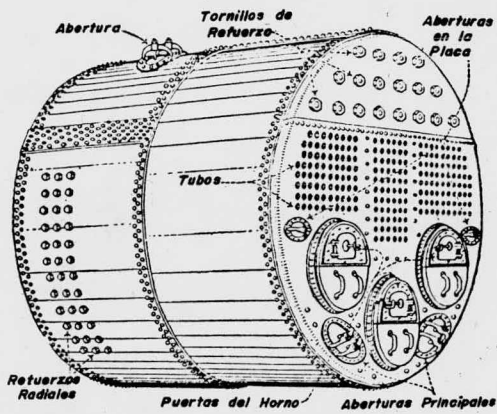


Fig 2-8 Vista Externa.

el cabezal externo con tornillos y el cuerpo anterior está sostenido por el horno y los tubos.

Las ventajas de la caldera tipo Marino Escocés son: 1) Ocupan el menor volúmen comparado con el poder desarrollado por cualquier tipo de caldera conocido. 2) Las características de su vapor limpio facilitan mantener una presión de vapor uniforme bajo condiciones de carga variable.

La principal desventaja de la caldera Escocesa es la tendencia del agua a circular lentamente en la región inferior de los tubos. Esto ocasiona que el área adyacente a la placa de la coraza permanezca relativamente fría, por lo que se genera una resistencia debido a una expansión desigual.

a.2) Caldera tipo Locomotora

Las calderas tipo Locomotora se emplean en aplicaciones [portátiles y semiportátiles] y ocasionalmente se les encuentra en plantas estacionarias.

Estas calderas constan de un [hogar con piernas de agua a ambos lados y en las terminales, formadas por las placas verticales de una construcción en forma de caja, la cual rodea al hogar a ambos lados, de frente y atrás]. Las placas laterales, la anterior y la posterior están unidas a una coraza cilíndrica, la cual se llena por medio de los tubos. A través de estos tubos los productos de combustión fluyen directamente desde el cañón. [Los tubos se extienden desde la parte trasera o placa tubular del hogar, hasta la cabeza de la coraza, la parte superior del hogar es plana o ligeramente arqueada y el cenicero está separado del hogar]. El hogar está enteramente rodeado de agua, excepto por la entrada de combustible y el cenicero.

Los tubos de una caldera tipo Locomotora para servicio estacionario, son pocos en número pero grandes en diámetro, generalmente de 3 a 4 pulgadas. Los tubos largos reducen la superficie de calentamiento pero se efectúa una mejor circulación

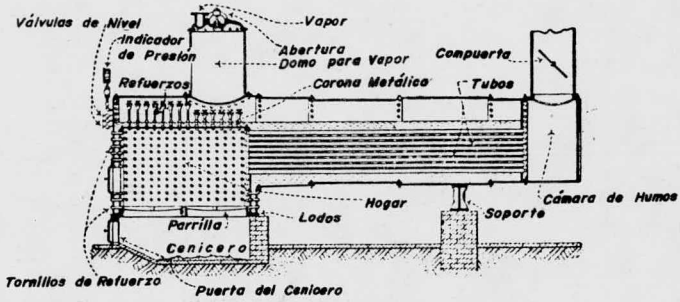


Fig. 2-9 Caldera Tipo Locomotora.

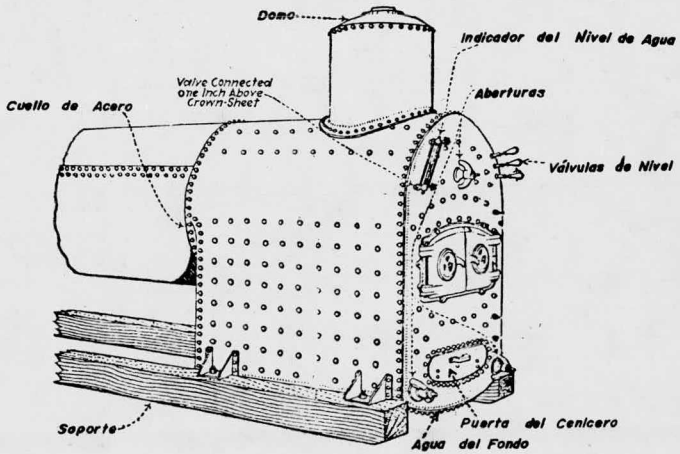


Fig. 2-10 Caldera Tipo Locomotora.

del agua. Las figuras 2-9 y 2-10 representan este tipo de caldera.

Las principales ventajas de esta caldera son:

1) Solidez. 2) Gran capacidad de evaporación. 3) Regular economía y movilización.

a.3) Caldera Vertical.

Una caldera de forma vertical, llamada también "Caja de Fuego", se muestra en las figuras 2-11 y 2-12 y se emplean con frecuencia en plantas colocadas temporalmente; ocupan poco espacio y su mantenimiento y transportación se realizan con facilidad.

La caldera vertical está hecha de una reducción cónica de lámina en forma de corona con un anillo cilíndrico o se construye de lámina formando un anillo y después un cono -- truncado. Los tubos son de 2 pulgadas de diámetro y una pierna -- anular de agua encierra el fondo con una placa de hierro forjado que retiene los lodos. La "caja de fuego" está sostenida al cuerpo de la caldera con tornillos. Los tubos sirven para sostener la corona laminada y el cabezal externo. La caldera se coloca sobre una base de hierro colado, la cual sostiene y contiene el cenicero.

Un defecto común de las calderas de tubos verticales es el sobrecalentamiento en los bordes tubulares, ya que se encuentran desprotegidos arriba del nivel de agua.

Los inconvenientes de las calderas verticales son: 1) La superficie de liberación del vapor es pequeña. En los diseños de tubos sumergidos las burbujas tienden a amontonarse bajo las placas de tubos; esto hace que se produzca vapor húmedo. 2) el agua circula en forma indeterminada y lenta. 3) Una combustión forzada puede ocasionar daños a la corona. 4) Su operación envuelve peligro, pues contiene menor cantidad de agua en proporción a su capacidad de evaporación. 5) Como ordinariamente la construcción del horno es pequeña, el viaje del gas es corto y el

CALDERA VERTICAL

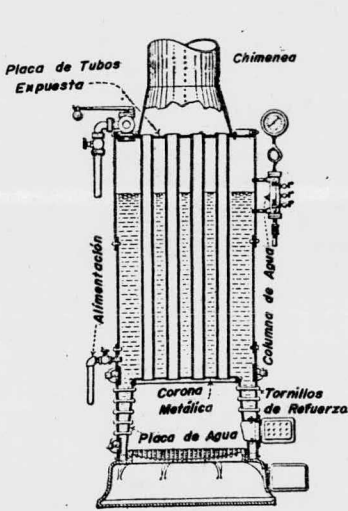


Fig. 2-11 Tubos no Sumergidos.

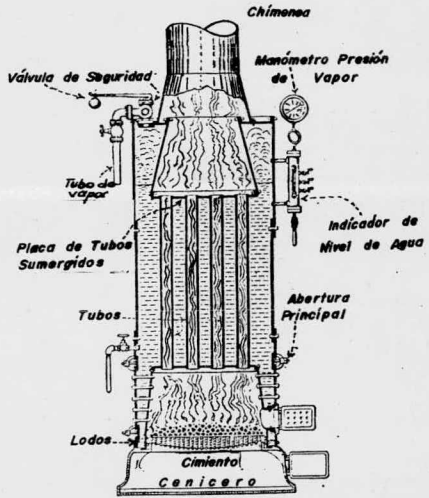


Fig. 2-12 Tubos Sumergidos.

suministro del combustible antieconómico. 6) El acceso a las piernas de agua se dificulta para su limpieza. 7) La corrosión de las placas alrededor de la puerta del combustible es rápida, también abajo de las rejas y alrededor de las costuras del fondo en el cuál se localiza la ceniza acumulada.

Las principales ventajas del tipo anterior, -son: 1) Es un equipo de evaporación rápida, pues la superficie de calentamiento vertical proporciona esta ventaja. 2) Ocupa poco espacio y se transporta fácilmente.

b) Calderas de Tubos de Agua.

Las características principales de diseño han permitido un gran desarrollo de las calderas de tubos de agua.

Actualmente se construyen para pequeñas y -- grandes capacidades, aún para producir un millón de libras de vapor por hora. Este tipo ha permitido un incremento continuo en -- las presiones de vapor y muchas unidades están operando sobre -- 1,400 psig de presión. Con estas calderas se emplean recalentadores para elevar la temperatura del vapor arriba de su temperatura de saturación, hasta temperaturas finales superiores a los 950 °F Para permitir mayor evaporación de una caldera dada, el horno de las unidades modernas está rodeado de paredes de agua fría que -- son parte integral de la caldera.

b.1) Tubos Horizontales Inclinados.

Las calderas de tubos rectos inclinados horizontalmente pueden tener [domos -tambores- longitudinales o transversales y calentadores de caja o seccionales, dentro de los cuales los tubos están rolados. Cuando se usan calentadores de caja la presión máxima y económica del vapor es de 300 psig y la capacidad está limitada por la conexión entre el cabezal y el tambor.

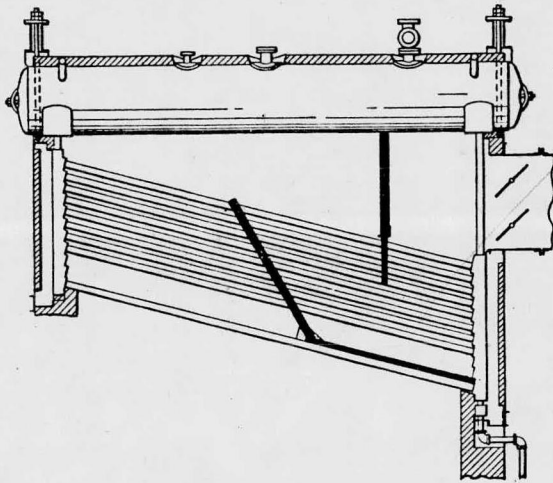


Fig 2-13 Caldera de Tubos de Agua
Tambor Longitudinal.

b.2) Calderas de Tubos Rectos Tambores Longitudinales.

Las calderas de tubos rectos con tambores longitudinales, como la de la figura 2-13, tienen tubos inclinados - expandidos enfrente y atrás de las piernas dentro de piernas de agua que conectan a un domo paralelo horizontal a los tubos. Las calderas pequeñas tienen un domo y las más grandes, de cerca de - 14 tubos a lo ancho, tienen dos o más domos paralelos. El diámetro de los domos varía entre 30 y 38 pulgadas y su longitud entre 17 y 22 pies.

Los tubos tienen un arreglo escalonado vertical en hilera, así que el gas hace un zigzag através de ellos. La estructura completa de la caldera está suspendida por soportes de acero enteramente independientes del enladrillado.

b.3) Cabezales.

Los modelos anteriores de piernas de agua son cabezales de acero forjado, ondulados, dentro de los cuales se encuentra una hilera vertical de tubos remachados y expandidos. Las figuras 2-14 a,b, y c muestra lo que es un cabezal. Así mismo se muestran las perforaciones que sirven una para cuatro tubos y las demás para un solo tubo ya que tiene una sola perforación.

La sección del cabezal es vertical y cada una está conectada al tambor por uno o dos tubos pequeños. Raramente existen modelos de más de 24 tubos a lo largo de la caldera, pero se han llegado a construir modelos de más de 43 tubos.

Los tubos para las calderas de tubos rectos, tienen un diámetro de 4 pulgadas, pero cuando el cabezal es de una perforación para cuatro tubos, estos tienen un diámetro de 3 pulgadas. Algunos fabricantes reducen el diámetro de los tubos para incrementar la presión, usando diámetros de 3 1/2 pulgadas arriba de 500 psig y de 3 1/4 pulgadas para presiones arriba de 900 psig. La transferencia de calor es mejor con tubos pequeños, pero como su diámetro disminuye, el número de cabezales aumenta.

C A B E Z A L E S

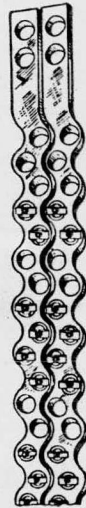


a- Perforación Elíptica



Figura 2.14

b- Perforación para
4 Tubos



c- Perforación Circular

La longitud máxima de los tubos para calderas de tubos rectos es entre 24 y 26 pies, pero el normal está en 18 y 20 pies.

b.3) Caldera de Tubos Inclínados con Domo Transversal.

Las calderas de tubos rectos horizontales inclinados con domo transversal, como las de la fig. 2-15 a y b, tienen el mismo arreglo que la de tubos rectos de domo longitudinal, pero el domo se coloca en ángulo recto con los tubos inclinados y arriba de su terminal inferior.

b.4) Calderas de Tubos Curvos.

Las calderas de tubos curvos tienen uno o más domos de vapor en la parte superior y un tambor en el fondo para los lodos, excepto las calderas extremadamente grandes empleadas en estaciones centrales, que a veces tienen dos tambores para lodos. Los tambores están unidos por tubos curvos para entrar al tambor radialmente. Cuando se usa más de un tambor para vapor, se unen con tubos de vapor y circulación de agua con el propósito de permitir la circulación en la caldera e igualar la presión y nivel de agua, para permitir al vapor y al agua fluir de un tambor a otro.

Los tubos de 4 pulgadas no se usan en calderas de tubos curvos. Abajo de 500 psig se usa tubo de 3 1/4; arriba de esta presión algunos fabricantes bajan hasta tubos de 3 pulgadas.

Las calderas de tubos curvos permite gran variedad de arreglos, más que la de tubos rectos. Varían de dos a cuatro domos y en unidades especiales se les encuentra de 5, 6 y 8 tambores donde alcanzan a producir hasta un millón de libras de vapor por hora.

Las calderas de tubos de extremos curvos de dos tambores paralelos, fig. 2-16, uno superior y el otro infe-

CALDERAS DE TUBOS RECTOS CON TAMBOR CRUZADO

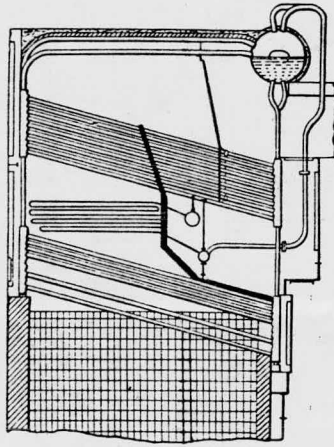


Fig. 2-15 a

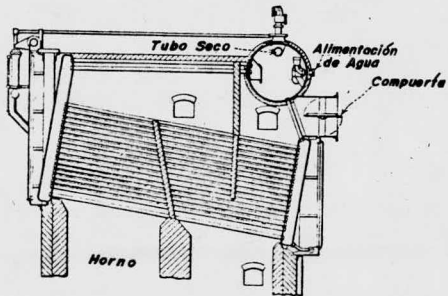


Fig. 2-15 b

rior, conectados por tubos de extremos curvos pueden estar inclinados o prácticamente verticales, como se muestra en la figura 2-17. En dicha caldera se emplean tubos de 3 1/4 y de 2 pulgadas de diámetro. Los de mayor diámetro se emplean en el primer paso, pues allí se genera mayor cantidad de vapor y se necesita una superficie tubular mayor. Los tubos de 2 pulgadas de diámetro se usan en el 2º y 3er pasos porque se tiene buena superficie de calentamiento en un espacio dado y la transferencia de calor se ayuda del espacio tubular más estrecho por lo que en ésta sección se genera menos vapor.

Las paredes de agua que protegen al horno, consisten de tubo curvo con sus terminales superiores vueltas hacia el tambor de vapor y sus terminales inferiores roladas dentro de los calentadores, los cuales se abastecen de agua de la caldera del tambor del fondo.

Las calderas de tubos curvos de tres tambores tienen dos tambores para vapor y uno para fondos, como se muestra en la figura 2-18 a y b. La alimentación de agua se hace por el tambor trasero y circula hacia los tubos de atrás. La generación de vapor es más vigorosa en los tubos frontales y esto fuerza una circulación del agua hacia arriba. El vapor generado en el tambor frontal pasa a través de los tubos de circulación superiores, los cuáles conectan los dos tambores de vapor, dentro del domo de vapor trasero. En éste domo se genera vapor saturado para sobrecalear o para uso común. Este tipo de caldera se emplea para presiones de vapor de 1,400 a 1,800 psig y en capacidades de 25,000 a 700,000 libras de vapor por hora.

Las calderas de tubos con extremos curvos de cuatro tambores se emplean cuando la presión es menor de 900 psig. Para presiones superiores, se usan las calderas de tres domos debido al alto costo de los tambores para altas presiones. En algunos diseños los tres tambores de vapor están casi al mismo nivel mientras que en otros, uno de estos tambores superiores opera casi sumergido. En ambos casos los resultados son satisfactorios.

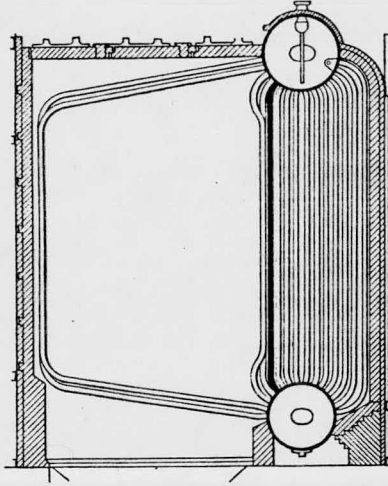


Fig. 2-16 Tubos verticales paralelos de dos tambores

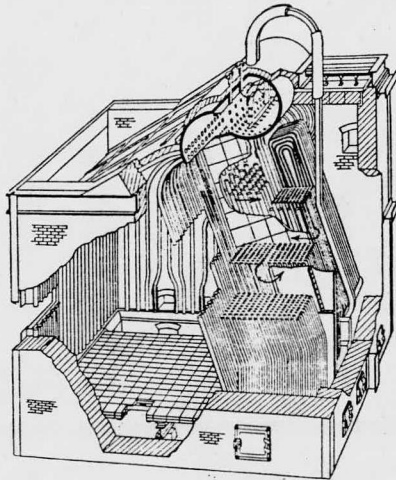


Fig. 2-17 Tubos inclinados de dos tambores

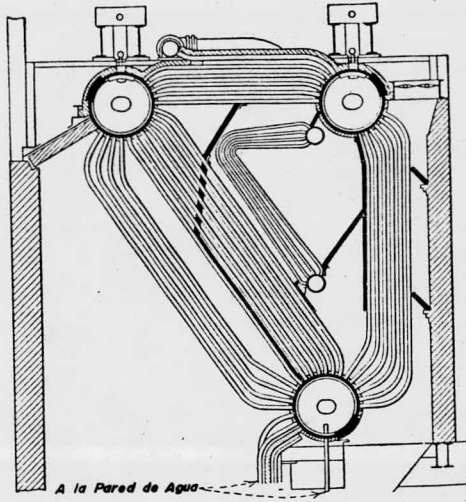


Fig. 2-18 a Tubos curvos de tres tambores
pared trasera enfriada con agua

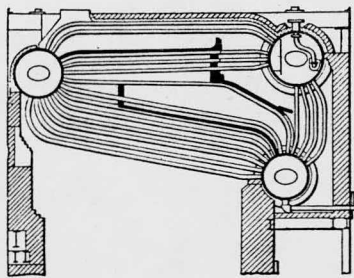
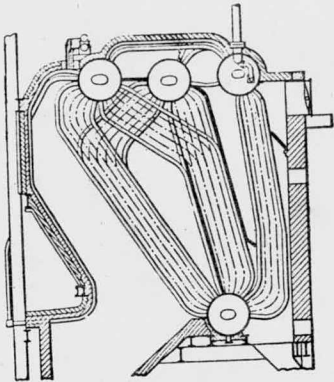
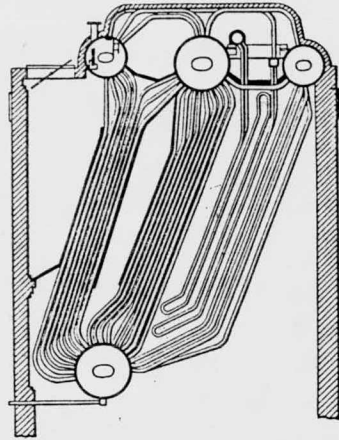


Fig. 2-18 b De tres tambores

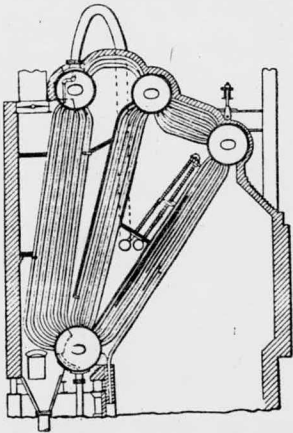


A.- Tubos alternados. En el 1º y 2º bancos se cruzan

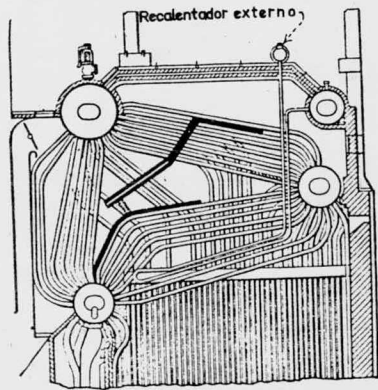


B.- Tubos curvos con reja para residuos

CALDERAS DE CUATRO TAMBORES



C.- Tambor superior del frente sumergido.



D.- Tambor superior del frente usado como secador de vapor

Fig. 2-19

Los diámetros de los tambores varía de 34 a 54 pulgadas dependiendo de la capacidad y de la superficie de agua necesaria para obtener una gran generación de vapor. Puesto que el banco frontal de tubos genera considerablemente más vapor que el banco intermedio, el calor almacenado en los dos tambores se distribuye mejor, permitiendo tambores de diámetros pequeños o mejor separación de vapor. Del mismo modo los ligamentos entre los tubos son grandes, permitiendo tambores más delgados. También los tubos de circulación del vapor del tambor frontal conducen directamente el vapor al domo trasero, ayudando a la igualación de presión en los tambores y manteniendo el nivel del agua.

La sequedad del vapor es uno de los requisitos de una buena caldera, independientemente que tenga o no recalentador.

II.5.- COSTOS

Los fabricantes de calderas, en nuestro país, no acostumbran tener "listas de precios" de sus productos, así que el costo del equipo que se quiera comprar, siempre estará sujeto al precio en el mercado, de las placas de acero, el precio de la tubería, soldadura, instrumentación, etc. que requiera la caldera.

Esto no quiere decir que el fabricante nacional se niegue a dar precios, sino que el proceso adecuado para conseguirlo es mediante la carta de solicitud de cotización, especificando tipo y capacidad de la caldera que se desea.

II.6.- EFICIENCIA

La capacidad de vapor de una caldera se expresa actualmente en tres formas distintas:

- a) Capacidad en Caballos de Vapor por hora.
- b) Capacidad en miles de BTU por hora.
- c) Capacidad en Kg de vapor por hora a 100 °C

junto con los metros cuadrados de superficie de calentamiento.

Los caballos de caldera se emplean para designar la capacidad de la caldera, pero en las calderas actuales tiene poco significado pues ya no se usa en calderas grandes sino en unidades pequeñas. Esta unidad nos define la relación matemática a las unidades de HP, las cuales se usan para expresar el valor del trabajo realizado. El CC es meramente una expresión de la velocidad de evaporación de agua en una caldera. Esto se define como la evaporación de 34.5 libras de agua por hora a una temperatura de 212 °F y una presión de 14.7 psi, lo que es equivalente a un suministro de 33,472 BTU por hora.

Las calderas se relacionan algunas veces con caballos de vapor dividiendo, arbitrariamente, la superficie de calentamiento entre 10. Bajo estas bases, las grandes unidades modernas operan a 200 a 400% de su capacidad.

$$Q = m \lambda \quad (2.1)$$

Donde: $\lambda = 970 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}}$ y $m = 34.5 \text{ lb}$

$$Q = 34.5 \frac{\text{lb}}{\text{hr}} \times 970 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}} = 33,472 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}$$

$$\text{CC} = \frac{w (h_g - h_l)}{33,472} \quad (2.2)$$

Donde: w = masa de vapor generado

h_g = entalpía del vapor

h_l = entalpía del líquido

$$\text{Rendimiento } \% = \frac{w (h_g - h_l)}{\text{CC } 33,472} \quad (2.3)$$

1 CC = 10 pies² se superficie de transmisión de calor

1 CC \doteq 1 m²

$$\text{Capacidad Normal} = \frac{\text{Area de transmisión}}{10 \text{ pies}^2}$$

II.7.- CALDERAS DE CONSTRUCCION NACIONAL

7.a) CALDERAS DE TUBOS DE HUMO.

En México existen varios fabricantes de calderas, tales como Importaciones y Exportaciones Universales que fabrican las calderas LUKAUT, de tubos de humo, horizontales, tipo escocés, verticales, etc. y DE-RREY, S.A. que también fabrica calderas de diversos tipos y capacidades y otros equipos, como recipientes a presión, evaporadores, tachos, tanques, etc.

Los fabricantes anteriores no son los únicos, sino se mencionan a estos dos por hablar de cualquiera de ellos.

7.b) ESPECIFICACIONES DE LAS CALDERAS NACIONALES.

CONSTRUCCION.- Se construyen de acuerdo al Código A.S.M.E. y al Reglamento de la Secretaría del Trabajo y Previsión Social. El acero utilizado para la fabricación de las calderas es grado SA-515 70 y SA-212-B, el cual alcanza un esfuerzo a la ruptura de 4921 Kg/cm^2 . La construcción de las calderas es totalmente soldada automáticamente con arco sumergido y comprobada la calidad de ésta con Rayos X, para luego ser sometidas al tratamiento térmico para el relevo de esfuerzos en el acero. Los tubos -fluxes- son de 76.2 mm de diámetro externo, calibre 11, sin costura y metalizados para impedir la incrustación de sarro; éstos son rolados y remachados en sus extremos para facilitar su cambio sin perjudicar los espejos, aunque otros fabricantes los sueldan a los espejos.

Estos fabricantes elaboran calderas de 2, 3 y 4 pasos en calderas de tubos de humo, calderas de tubos de agua, que de línea se encuentran de 500 a 2000 Caballos de vapor y calderas para quemar desperdicios de madera o aserrín.

INSTALACION.- Es de gran rapidez y sencillez, generalmente salen de la fábrica con todos sus controles instalados y listos para su funcionamiento. No necesitan una costosa ci-

mentación y algunas no necesitan de anclajes pues no vibran, solo se recomienda un piso de concreto nivelado. Se requiere para su instalación, que haya en el cuarto de calderas, corriente de 110 y 220 volts.

MANTENIMIENTO.- Su limpieza es rápida ya que la parte baja de las calderas, donde se acumulan los sedimentos, permanece a una temperatura relativamente baja para que éstos no se endurezcan y sea más fácil su extracción; para lo cual se cuenta con registros de mano en los costados, en la parte inferior y en el espejo delantero de la caldera, por donde se puede meter un chorro de agua a presión o una varilla. Además en las calderas de 60 HP en adelante, se tiene una abertura de tamaño tal que un hombre pueda introducirse.

ESPECIFICACIONES.- Podemos mostrar, como ejemplo, algunos modelos de calderas Lukaut donde sus especificaciones se muestran en la tabla 1 de este capítulo.

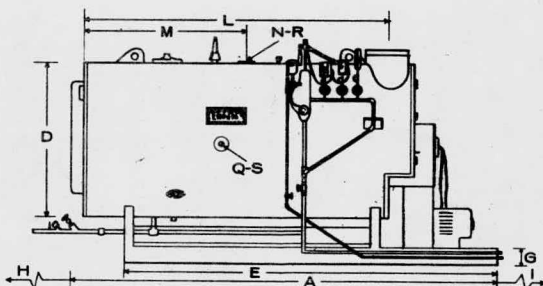
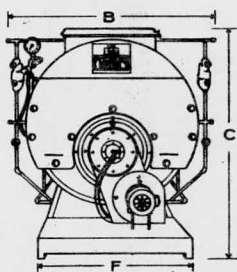


TABLA 1

MODELO	HG-150	HG-200	HGTF-300	HGTF-400	HGTF-500	
	HM-150	HM-200				
	HGTF-150	HGTF-200	HPDTF-300	HPDTF-400	HPDTF-500	
	HPDTF-150	HPDTF-200	HACTF-300	HACTF-400	HACTF-500	
Capacidad en Caballos Vapor por Hora	150	200	300	400	500	
Superficie de Calefacción, M ² .	74.1	95.8	150.9	211.94	250	
Capacidad en 1000 Btu/Hr.	5020	6690	10040	13380	16725	
Capacidad en Kgs. de Vapor/Hr. D y A 100°C	2349	3132	4698	6264	7830	
Motor del Quemador H.P.	7-1/2	10	15	20	25	
Consumo de Diesel a toda cap. Lt/Hr	165	225	330	450	560	
Consumo de Aceite a toda cap. Lt/Hr	155	210	310	420	525	
Consumo de Gas a toda cap. M ³ /Hr	165	225	330	450	560	
DIMENSIONES (En MM.)						
Longitud Total	A	5500	6350	6350	7200	8000
Ancho Total	B	2550	2750	3000	3000	3000
Altura Total	C	2500	2750	3000	3000	3000
Diámetro Total	D	1960	2120	2450	2450	2450
Longitud de la base	E	4810	5600	5600	6300	7100
Ancho de la base	F	1600	1780	1780	1780	1780
Altura de la base	G	254	254	254	254	254
Distancia libre atrás	H	2500	2500	2500	2500	2500
Distancia libre adelante	I	2500	2500	2500	2500	2500
Diámetro de la Chimenea	J	762	762	762	762	762
Altura de la chimenea (std.)	K	6000	6000	6000	6000	6000
Localización de la chimenea	L	4400	5200	5200	5900	6700
Localización de la salida de vapor	M	2750	3300	3300	3600	3900
Diámetro de la salida de vapor (Alta presión)	N	101.6*	152.4*	152.4*	152.4*	152.4*
Conexión al tanque de retorno **	O	19.05	25.4	25.4	25.4	38.1
Diámetro de la conexión de Diesel	P	12.7	12.7	12.7	12.7	19.05
Diámetro de la conexión de Aceite	P	19.05	19.05	19.05	19.05	25.4
Diámetro de la conexión de Gas	P	50.8	63.5	76.2	76.2	76.2
Entrada de agua a la Caldera (Baja Presión)	Q	101.6*	101.6*	101.6*	152.4*	152.4*
Salida de Vapor (Baja presión)	R	203.2*	254.0*	254.0*	304.8*	304.8*
Entrada de agua a la Caldera (Alta presión)	S	31.7	38.1	50.8	63.5	63.5
Motor de la Bomba de agua, H. P. **		7-1/2	10	15	20	25
Peso de la Caldera Vacía, Kg.		11000	14000	18000	22000	26000
Peso con agua a nivel normal Kg.		13500	17000	21500	26000	30000
Peso llena de agua, kg.		14500	18500	23500	28500	34500

* Conexión Bridada, 300 lb.

** No lleva cuando trabaja como Calentador

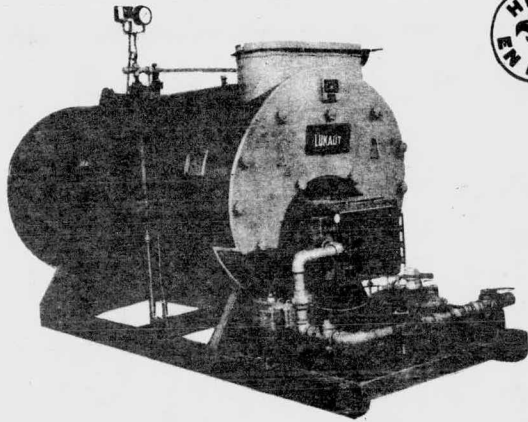


Fig. 2-20.- MODELO HG. Caldera para gas, automatica, tiro natural.

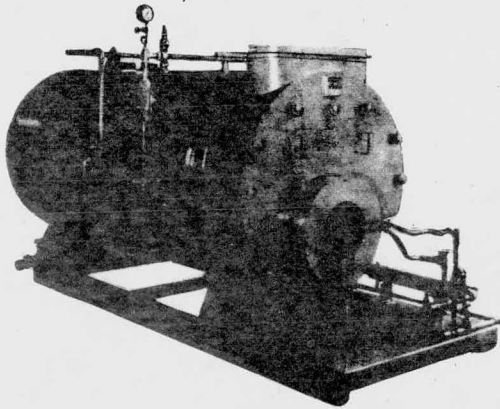


Fig. 2-21.- MODELO HM. Caldera para atomizar diesel o combustóleo, regulando manualmente el paso del vapor y combustible, inyector de agua manual, no necesita corriente eléctrica

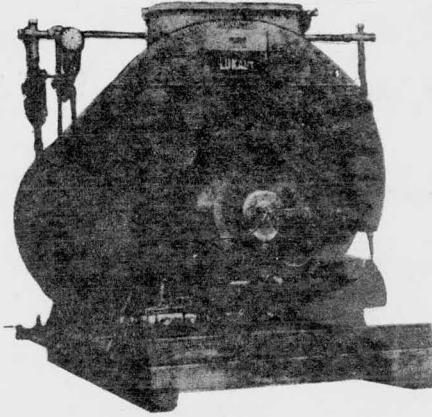


Fig. 222.- MODELO HGTF. Caldera para gas, tiro forzado automática

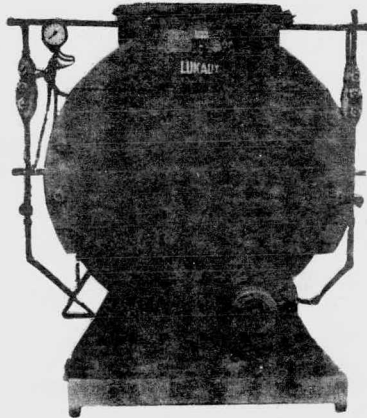


Fig. 2-23.- MODELO HPDTF. Caldera para petróleo o diesel, tiro forzado automática

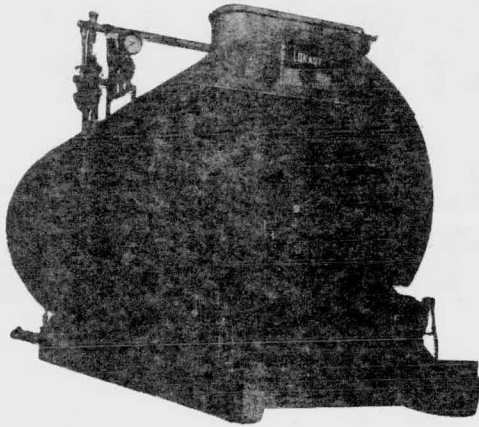


Fig. 2-24.- MODELO HACTF. Caldera para aceite pesado N°6, tiro forzado, automática, con programador de encendido, precalentadores de combustible.

VISTA INTERNA de una caldera de tubos de humo de fabricación nacional.

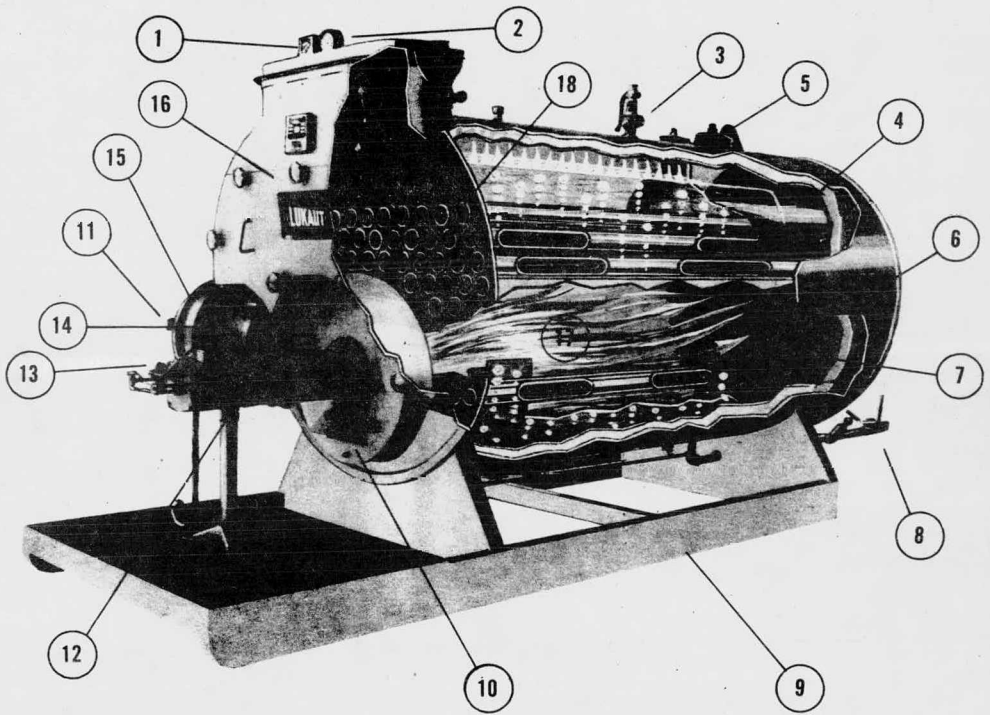


Figura 2-25

- 1 CONTROL DE PRESION para mantener el vapor en un límite máximo y mínimo de acuerdo con la demanda.
- 2 MANOMETRO DE VAPOR
- 3 VALVULA DE SEGURIDAD PARA presión de vapor
- 4 AISLAMIENTO TERMICO de fibra de vidrio que aumenta la eficiencia de la caldera evitando pérdidas de calor.
- 5 REGISTROS DE MAND de 3 x 4 pulgadas o para

hombre de 11 x 15 pulgadas para facilitar la limpieza interna de la caldera.

6 FORRO de lámina calibre No 20 para proteger el aislamiento.

7 CAMARA DE COMBUSTION aislada interiormente con concreto refractario. Se tiene acceso a la misma para limpieza o pequeñas reparaciones por el registro de 50.8 cm que además tiene una mirilla. Para cambiar tubos se puede quitar toda la tapa trasera que está atornillada y sellada con empaque de asbesto.

8 VALVULA DE DESCARGA RAPIDA para abrirse durante unos segundos diariamente y desalojar por arrastre los sedimentos.

9 BASE de acero estructural.

10 COMPUERTA de aire secundario.

11 BOMBA para combustible.

12 TRANSFORMADOR de corriente para ignición.

13 VALVULA ELECTRICA retardadora.

14 MOTOR del ventilador.

15 QUEMADOR tipo cañon

16 TAPA para limpiar o cambiar tubos.

17 FOGON INTERIOR, rodeado de agua y de gran volúmen para transmitir la máxima cantidad de calor y evitar un sobrecalentamiento del mismo, prolongando la vida de la caldera.

18 TUBOS -fluxes- calibre 11, diámetro externo 76.2 mm.

7.c) CALDERA TIPO MARINO ESCOCES

Sus especificaciones sobre construcción, instalación y mantenimiento son básicamente las mismas anteriormente citadas.

OPERACION.- Es totalmente automática, silenciosa y segura. Prende el quemador cuando la demanda de vapor hace bajar la presión hasta el límite inferior y apaga cuando llega al límite máximo de trabajo. Mantiene el nivel de agua automáticamente. Es silenciosa

te. Es silenciosa debido a que el sistema de combustión es de Tiro Atmosférico, con quemadores tipo cañón, que utiliza un pequeño motor para mover la bomba inyectora de combustible y el soplador que provee el aire primario necesario para la combustión. Es segura porque el moderno y sencillo tipo de quemador elimina las posibilidades de falla en el encendido y acumulación de combustible crudo en el fogón.

Sus dimensiones y especificaciones se muestran en la tabla 2 de este capítulo.

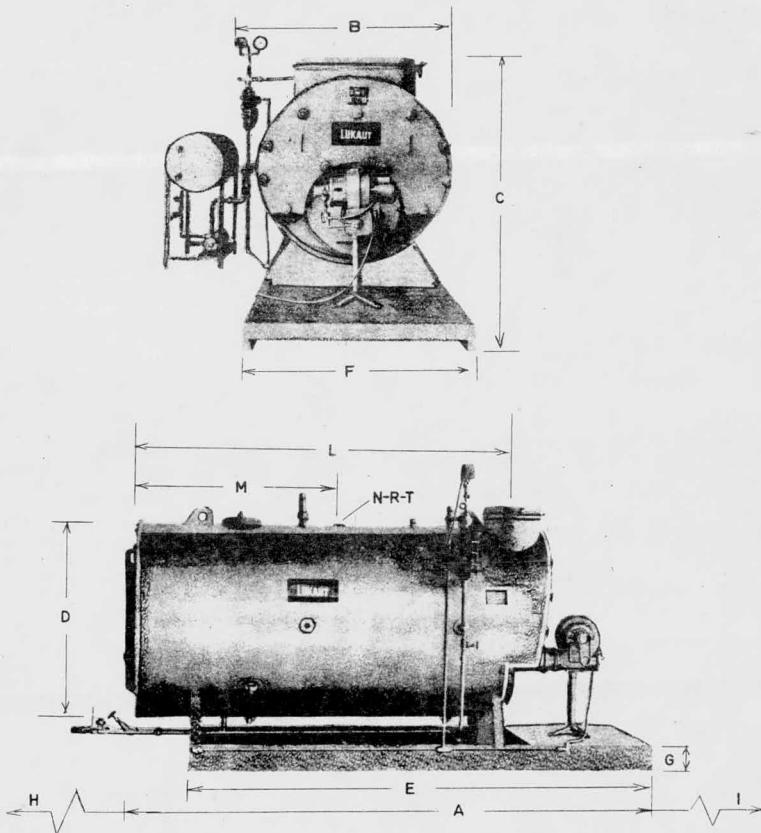


TABLA 2

MODELO:	HPD-5	HPD-10	HPD-20	HPD-25	HPD-30	HPD-40	HPD-50	HPD-60	HPD-80	HPD-100	HPD-125
Capacidad en Caballos Vapor por Hora	5	10	20	25	30	40	50	60	80	100	125
Superficie de Calefacción, M ²	2.3	5.0	9.90	11.8	14.9	19.4	24.3	28.43	38.4	46.8	58.7
Capacidad en 1000 Btu/Hr.	168	336	669	836	1004	1338	1673	2008	2676	3345	4181
Capacidad en Kgs. de vapor/hr. D y A 100° C.	78	156	312	390	468	624	780	936	1248	1566	1956
Motor del quemador HP	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/2	1/2	1/2	1	1
Consumo de Petróleo o Diesel a toda su capacidad Lts./Hr.	6	12	24	30	36	48	60	72	96	120	150
DIMENSIONES (En MM.)											
A Longitud Total	2200	2800	3250	3620	3620	3850	3910	3850	4100	4215	4850
B Ancho Total	1050	1130	1320	1320	1550	1600	1630	1700	1800	2000	2000
C Altura Total	1300	1350	1510	1510	1710	1600	1830	1950	2000	2200	2200
D Diámetro Total	680	830	1016	1016	1200	1270	1300	1400	1500	1600	1600
E Longitud de la Base	1855	2220	2850	3100	3100	3400	3400	3400	3550	3750	4450
F Ancho de la Base	813	915	915	915	1118	1170	1220	1321	1423	1524	1524
G Altura de la Base	102	152	152	152	152	152	152	152	203	203	203
H Distancia libre atrás	1500	1500	1500	1500	1500	1500	2000	2000	2000	2000	2000
I Distancia libre adelante	1500	1500	1500	1500	1500	1500	2000	2000	2000	2000	2000
J Diámetro de la Chimenea	355	406	406	406	560	560	560	760	760	914	914
K Altura de la Chimenea	4600	4600	6100	6100	6100	6100	6100	6100	6100	6100	6100
L Localización de la Chimenea	1330	1550	2130	2460	2460	2650	2800	2700	2850	3100	3730
M Localización de la salida de vapor	800	940	1320	1350	1350	1500	1510	1510	1600	1651	2290
N Diámetro de la salida de vapor (alta presión)	25.4	25.4	50.8	50.8	50.8	50.8	50.8	76.2	76.2	76.2	101.6
O Diámetro de la conexión de agua **	25.4	25.4	25.4	25.4	25.4	25.4	25.4	25.4	25.4	25.4	25.4
P Diámetro de la conexión de Petróleo o Diesel	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35
Q Entrada de agua a la caldera (baja presión)	25.4	50.8	50.8	50.8	76.2	76.2	76.2	101.6 *	101.6 *	101.6 *	101.6 *
R Salida de vapor (baja presión)	50.8	50.8	76.2	76.2	101.6 *	101.6 *	101.6 *	152.4 *	152.4 *	152.4 *	203.2 *
S Entrada de agua a la caldera (como calentador)	25.4	50.8	50.8	76.2	76.2	76.2	76.2	101.6 *	101.6 *	152.4 *	152.4 *
T Salida de agua (como calentador)	25.4	50.8	50.8	76.2	76.2	76.2	76.2	101.6 *	101.6 *	152.4 *	152.4 *
Motor de la Bomba de Agua, HP ***	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	5
Peso Aprox. con agua, Kg.	630	1000	1950	2300	2800	3300	3600	4600	5200	6600	7370
Peso Aprox. vacía, Kg.	500	800	1400	1600	2000	2400	2600	3500	4000	5000	5500

- 41 -

7.d) CALDERA VERTICAL IGNEOTUBULAR

Las siguientes figuras y tablas de especificaciones muestran la caldera vertical de tubos de humo de fabricación nacional.

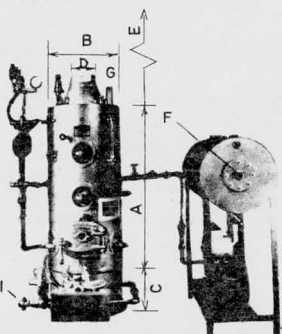


Fig. 226.- MODELO VG

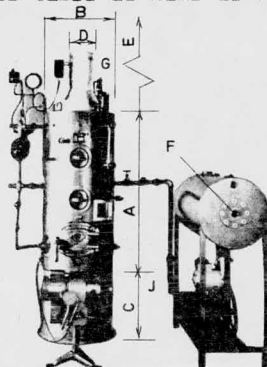


Fig. 227.- MODELO VP

TABLA 3

MODELO:	GAS	VG-4	VG-7	VG-10
MODELO:	Petróleo ó Diesel	VP-4	VP-7	VP-10
Superficie de Calefacción, M2.		2.91	4.46	5.66
Capacidad en BTU/HR (Millares).		134	234	334
Capacidad en Kg. de vapor/hr D y a 100°C.		62.5	109.4	156.3
Capacidad en Lts. agua/hr. $\Delta T = 50^\circ C$ (calentador)		700	1170	1670
Consumo de Gas a toda capacidad M3/hr.		4.8	8.4	12.0
Consumo de Petróleo a toda capacidad Lts./hr.		4.8	8.4	12.0
DIMENSIONES (EN MM.).				
A	Altura.	1270	1524	1832
B	Diámetro.	571	673	673
C	Altura de la Base para Gas.	320	320	320
	Altura de la Base para Petróleo.	520	520	520
D	Diámetro de la chimenea.	203.2	254.0	254.0
E	Altura de la chimenea.	4000	4000	4000
F	Diámetro de la conexión de agua. *	25.4	25.4	25.4
G	Diámetro de la salida de vapor.	38.1	50.8	50.8
H	Diámetro de la entrada de agua. **	38.1	50.8	50.8
I	Diámetro de la conexión de Gas.	25.4	25.4	25.4
J	Diámetro de la conexión de Petróleo.	6.35	6.35	6.35
	Peso aprox. llena de agua, Kg.	485	630	760
	Peso aprox. Vacía, Kg.	355	430	460

7.e) CALDERAS DE TUBOS DE AGUA

Estas calderas se muestran en las siguientes figuras. Son de construcción nacional, de diferentes tipos y capacidades y fabricadas por CE-RREY, S.A.

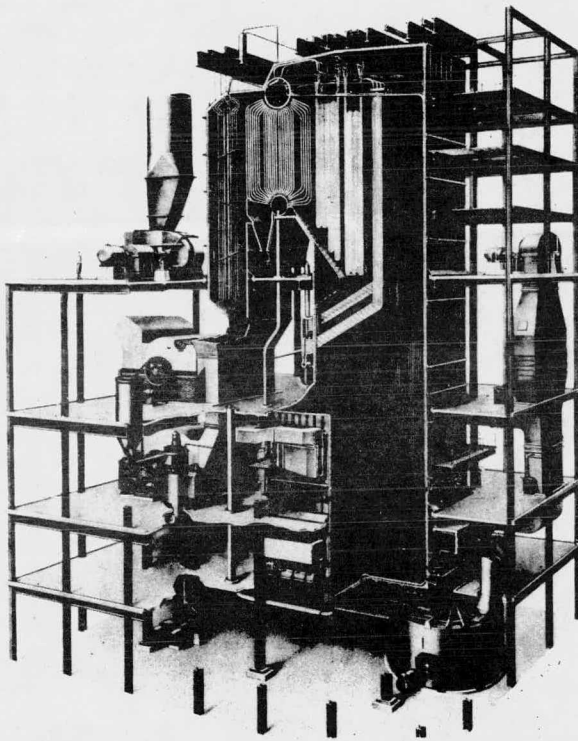


Fig. 2-28.- Caldera de recuperación de sales, especialmente diseñada para la industria papera

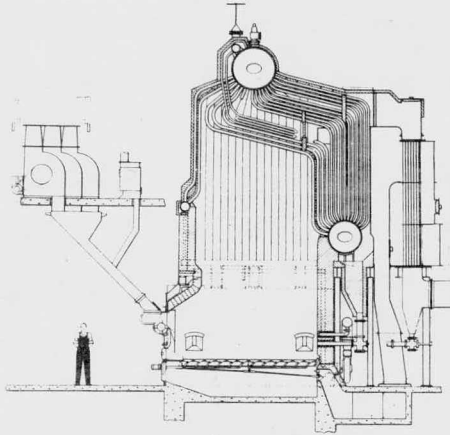


Fig. 2-29.- Caldera equipada con alimentador para quemar bagazo de caña

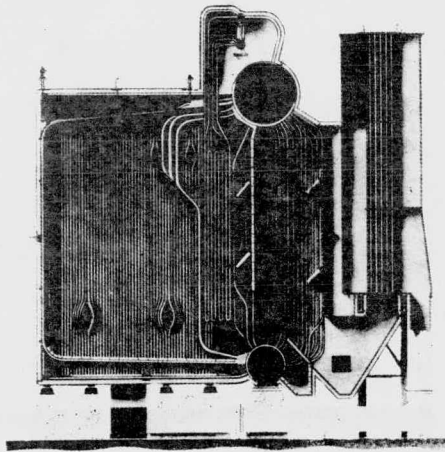


Fig. 2-30.- Caldera de uso múltiple, con recalentador y precalentador de aire tipo tubular

CAPITULO III

DESCRIPCION DE LOS APARATOS

III.1.- CALDERA DEL LABORATORIO DE INGENIERIA QUIMICA

El Laboratorio de Ingeniería Química, de esta Facultad, cuenta con una caldera marca Superior que fué construída por la Superior Combustion Industries Inc. New York en 1954. Tiene una superficie calórica de 262.1 pies², lo que equivale, aproximadamente a 26.21 Caballos de Caldera.

Sin embargo, en virtud de estar dotada de tiro inducido y de tiro forzado, su potencia es de 50 CC, por lo que su relación de capacidad es:

$$RC = \frac{50}{26.21} \times 100 = 188 \%$$

Está diseñada para operar a 2270 m de altura.

Tiene 53 tubos -fluxes- de 3 pulgadas de diámetro y de 7 pies 3 1/4 pulgadas, aproximadamente 2.20 m de longitud.

CARACTERISTICAS ELECTRICAS.

Usa corriente de 220 volts, 3 fases, 60 ciclos
Tiene tres motores eléctricos:

El motor No 1 mueve el ventilador de tiro forzado y al mismo tiempo la bomba de inyección de combustible a los atomizadores. Es de 1/3 HP y tiene 1425 rpm.

El motor No 2 mueve el ventilador de tiro inducido y su potencia es de 1.5 HP y 1460 rpm.

El motor No 3 mueve la bomba de alimentación de agua a la caldera. Su potencia es de 3 HP y 2940 rpm.

PRESIONES.

La presión máxima de trabajo de la caldera es de 8.5 Kg/cm², pero se puede ajustar a diferentes presiones por medio del regulador de presión.

La presión de ajuste de la válvula de seguridad es de 80 psig.

QUEMADOR.

Marca Silent Korth modelo T-4. Cuenta con dos toberas atomizadoras que reciben el combustible de una bomba de engranes acoplada a la misma flecha del ventilador de tiro forzado. Cada tobera tiene una capacidad de 15.14 l/hr y usa combustible Diesel.

COMBUSTIBLE.

Las especificaciones del combustible que debe usar la caldera son las siguientes:

Punto mínimo de inflamación: 65.5 °C

Punto máximo de inflamación: 93.5 °C

Agua y sedimentos: 0.1 % máximo

Prueba de destilación:

Al 10% de destilado, máximo: 238 °C

Al 90% de destilado, máximo: 358 °C

Viscosidad máxima: 55 seg Saybolt Universales

a 38 °C.

El combustible que llena estas especificaciones es el Diesel producido por PEMEX, ya sea el Diesel 35/39 especificación No 404 o el Diesel No 1 especificación No 411/70. Este combustible se alimenta desde un tanque subterráneo con capacidad de 8000 litros situado fuera del edificio del laboratorio. Una bomba de pistón movida por motor eléctrico y situada en el ángulo SO del taller mecánico, envía el combustible a un tanque auxiliar o de día con capacidad de 500 litros y es de este tanque de donde lo toma la bomba de engranes y lo recircula continuamente, pasando solo una pequeña porción a los atomizadores a través de una

válvula selenoide y una válvula de aguja instaladas para un mejor ajuste y regulación del flujo de combustible. Existe un filtro en la línea entre el tanque de día y la bomba de engranes. Esta bomba es marca Webster Electric, de dos pasos, modelo 4TB6 125.

AGUA.

Esta se alimenta cruda de un tanque de almacenamiento que tiene una capacidad de 1920 litros y el cual se encuentra cercano a la caldera.

CONTROLES Y DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD.

Los controles más importantes son el de nivel y el de presión. El primero se logra con un flotador colocado en una columna conectada al cuerpo de la caldera, que envía la señal a un interruptor de Mercurio que arranca o para la bomba de inyección de agua manteniendo así un nivel aproximadamente constante.

El control de presión se logra a base de un sistema "Mercoild" que recibe la señal de presión de un tubo bourdon que actúa también sobre un interruptor de Mercurio, el cual se ajusta mediante dos agujas que señalan la presión a la cual se apaga y la presión a la cual vuelve a encender la caldera.

Los motivos por los cuales los dispositivos de seguridad hacen que la caldera se pare automáticamente son:

a) Falla de la flama.- Un bulbo del sistema "Visaflame" que recibe la señal de la flama, envía esta, mediante un espejo esférico, a una fotocelda que es una espiral bimetálica que extiende un electrodo hasta hacerlo cerrar un circuito que mantiene toda la caldera trabajando. Si no hay suficiente luz, el circuito se abre y la caldera se apaga, ya que al abrirse el circuito se desconecta un interruptor de Mercurio de balancín.

b) Nivel de agua.- Cuando el nivel de agua es demasiado bajo, la caldera también se apaga, ya que el flotador -

que se encuentra en la parte superior de la columna de la caldera, hace que se despeguen los platinos que cierran el circuito de la bomba del agua.

c) Circulación de los humos.- Si el tiro inducido no funciona correctamente y no hace el vacío necesario en la salida de los humos de la chimenea, un interruptor de vacío envía la señal respectiva y la caldera para por este motivo.

d) Válvula de seguridad.- Esta es de resorte y se calibra para relevar a 80 psig.

PURGAS.

En toda caldera las purgas son muy importantes, ya que permiten reducir la concentración de sólidos totales, evitando así posibles incrustaciones. Esta caldera tiene dos purgas de 1 1/4 pulgadas de diámetro instaladas en el fondo del cuerpo de la caldera; otra para purgar la columna donde se toma el nivel y otra para el nivel mismo.

INYECTOR.

Un inyector de 1 pulgada de diámetro trabaja cuando la caldera tiene 40 psig de presión. Este inyector es ajeno al control de nivel y suple a la bomba de inyección de agua en casos especiales o cuando dicha bomba se deteriora.

VALVULAS.

La válvula de salida del vapor, es una válvula de compuerta que funciona como válvula de paso y como válvula de retención.

Existe también una válvula selenoide que corta el combustible cuando la caldera se apaga en forma instantánea y una válvula interruptor de mariposa que cierra la entrada del

aire y evita la salida de humo por el colador que se encuentra - situado a la entrada del aire de combustión o para evitar el paso de humo por el ventilador de tiro forzado.

ENCENDIDO.

Este se logra mediante dos electrodos colocados de tal manera que la chispa de cada par haga contacto con chorros de combustible rociados por ambas toberas y se mantiene dicho arco encendido durante todo el tiempo que la caldera dure encendida. La chispa se logra con un potencial de 10000 volts, el cual se obtiene mediante dos transformadores, uno para cada par - de electrodos.

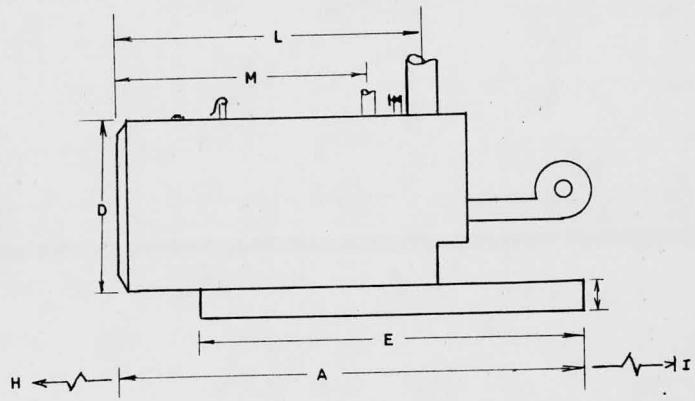
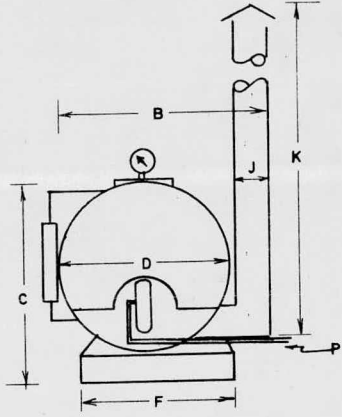
Al conectar el interruptor de encendido, primero arranca el abanico de tiro inducido y luego el de tiro forzado, enseguida encienden los electrodos y abre la válvula selencide dando paso al combustible. Instantes después se observa en las mirillas, la flama respectiva.

DIMENSIONES.

Las figuras 3-1 y 3-2 representan la vista - frontal y lateral respectivamente, de la caldera del Laboratorio de Ingeniería Química, donde se muestran las dimensiones siguientes:

A	Longitud total	4000 mm
B	Ancho total	2050 "
C	Altura total	1850 "
D	Diámetro total	1470 "
E	Longitud de la base	3100 "
F	Ancho de la base	1300 "
G	Altura de la base	225 "
H	Distancia libre atrás	4150 "
I	Distancia libre adelante	2700 "

J	Diámetro de la chimenea	360 mm
K	Altura de la chimenea	6000 "
L	Localización de la chimenea	2700 "
M	Localización de la salida del vapor de alta presión	2100 "
N	Diámetro de la salida del vapor de alta presión	76 "
P	Diámetro de la conexión del combustible	19 "
R	Diámetro de la salida del vapor de baja presión	12 "



III.2.- CALORIMETRO ISOENTALPICO

Es un aparato por medio del cual el vapor se expande a través de un pequeño orificio dentro de una cámara conectada a la presión atmosférica, de tal manera que la presión más allá del orificio, se considera la de la atmósfera.

El calorímetro consiste de un tubo de expansión adiabática, una válvula de globo de alimentación del vapor, manómetro y termómetro. Figura 3-3.

III.3.- CALORIMETRO DE BARRIL

Consiste principalmente de un barril de madera de aproximadamente 200 litros de capacidad y se complementa con una báscula de 500 kg de capacidad; de la línea de vapor con su válvula, el manómetro y el termómetro correspondiente. Fig 3.4.

III.4.- ANALIZADOR DE GASES ORSAT HAYS

Es el más común de los aparatos empleados para análisis de gases. Consiste de una bureta de vidrio de 50 cm³ de capacidad encajada con un recipiente también de vidrio, unida a tres pipetas, las cuales contienen absorbentes para CO₂, O₂ y CO, siendo estas soluciones: sosa al 25% o potasa al 33%; - pirogalato de potasio, comúnmente llamado Pirogalol y Cloruro Cuproso respectivamente.

Las pipetas se encuentran llenas de rebaba de hierro, las dos primeras, y de alambre de cobre la tercera. Lo anterior es con el objeto de presentar mayor superficie de contacto al paso del gas. La bureta y el depósito al cual está unida, contiene agua acidulada con una pequeña cantidad de Acido Sulfúrico concentrado y coloreada con Naranja de Metilo, para indicar en un momento dado cualquier paso accidental de reactivo. Contiene además un filtro y una perilla de hule que sirve como bomba en la lí

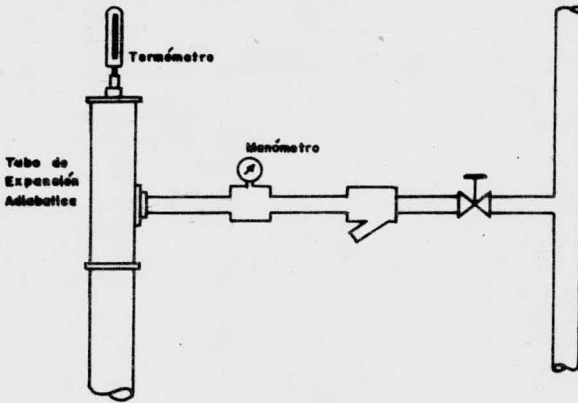
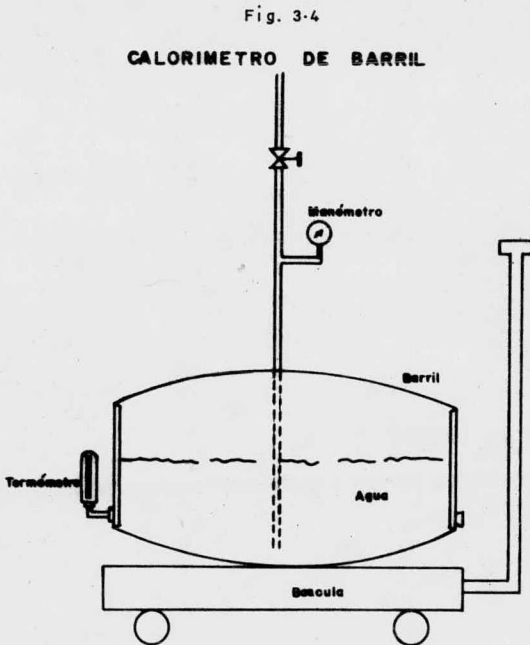


Fig. 3-3
CALORIMETRO ISOENTALPICO



nea de alimentación del gas. Cuanta además con una válvula de 3 pasos y cuyas posiciones permiten: aforar la bureta en cero; aceptar la entrada del gas y permite el paso de dicho gas a las pipetas con solución. Figura 3-5.

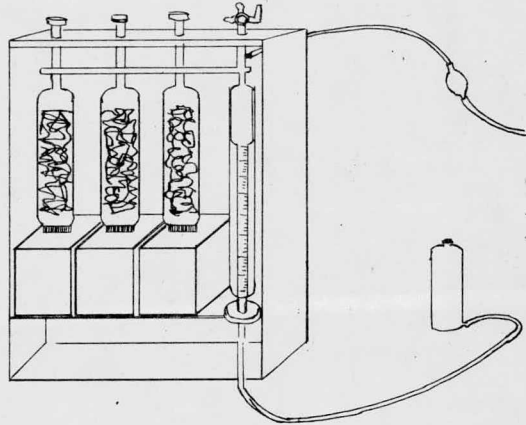


Fig. 3-5

III.5.- VAPOR

El medio de transporte de energía más común y de más amplias aplicaciones en la industria, es el vapor de agua. Su aplicación a fines industriales tiene dos ramas fundamentales: Medio de calentamiento e impulsor de máquinas.

Como medio de calentamiento siempre ha de buscarse el aprovechamiento íntegro de su calor de condensación y para esto han de tomarse en cuenta diversos factores, entre los cuales se pueden citar los siguientes:

a) A mayor presión, mayor será la masa de vapor que fluye por cualquier superficie de calentamiento y por lo tanto será susceptible de conducir mayor cantidad de calor aprovechable, pero en cambio habrá mayor dificultad para lograr la condensación de esa masa, ya que también se requiere un flujo consi-

derable del medio receptor del calor.

b) El uso de presiones elevadas, obliga a construir equipos metálicos cada vez más severos, donde se tienen que emplear tubos de mayor espesor en la pared y que por lo tanto disminuyen el coeficiente global de transmisión de calor.

c) Lo más ventajoso es usar vapor de baja presión, ya que por otra parte, el aumento exagerado de la presión, -de acuerdo a las tablas de vapor- no conduce a temperaturas muy elevadas para este medio de calentamiento y en cambio rigoriza las condiciones de operación al grado antes señalado.

Como impulsor de máquinas, el vapor se aplica principalmente a dos clases de ellas: las de pistón y las de turbina.

El principio sobre el cual se apoya cada aplicación, es el cambio de entalpia o contenido total de calor. A su vez el vapor ha reemplazado, en la mayor parte de las instalaciones modernas, al agua como medio impulsor de turbinas que dan movimiento a generadores eléctricos, integrando de esta manera las llamadas plantas termoeléctricas.

El vapor se clasifica generalmente en la forma siguiente: Vapor húmedo; vapor saturado y vapor recalentado.

Para fines de medio de calentamiento, se emplea el vapor húmedo con mayor frecuencia, ya que aunque técnicamente es preferible el vapor saturado, el costo del vapor húmedo es un poco menor.

✓ El vapor húmedo se define como aquel vapor que arrastra partículas de líquido en equilibrio con el vapor, y a mayor contenido de estas partículas, se tendrá una calidad inferior en el vapor.

Cuando el vapor es saturado, su presión y temperatura guardan la misma relación que hay entre la temperatura - del agua hirviendo y la presión del medio en que se encuentra.

Este vapor saturado no sigue las leyes de los gases, ya que al aumentar la presión condensa parte del vapor y

si disminuye la presión, se vaporiza parte del agua. Solamente se cumplen, aproximadamente, las leyes de los gases cuando el vapor se aleja de las condiciones de saturación.

El vapor recalentado es aquel que tiene la -- temperatura superior a la del agua hirviendo a la presión a la que se encuentra ese vapor.

La conversión del agua en vapor recalentado - comprende tres etapas:

a) En primer lugar se eleva la temperatura del agua hasta el punto de ebullición, el cual varía con la presión. Esta es la etapa de calor sensible, es decir, que el calor añadido puede detectarse por el sentido del tacto. El punto de ebullición es la temperatura a la cual la presión del vapor de agua es igual a la presión en la caldera.

b) La conversión del agua en vapor a temperatura y presión constantes. Esta es la etapa de calor latente, es decir que el calor añadido convierte el agua en vapor.

c) Por una aplicación ulterior de calor, fuera del contacto con el agua, por ejemplo, en un recalentador, la temperatura del vapor seco se eleva a presión constante. Esta es la etapa de sobrecalentamiento y el vapor se denomina ahora recalentado.

CONDENSADOS

Cuando se planea una industria, generalmente su diseño va acompañado de una gran importancia a la recolección de condensados, ya que estos ofrecen enormes ventajas si se usan como agua de alimentación a la estación generadora de vapor, ya que esto supone un ahorro de combustible, disminución de sales disueltas en el agua, disminución de gases disueltos y reducción en el consumo de reactivos que deban emplearse para combatir las sales y la expulsión de gases.

Generalmente la recolección se lleva a cabo

en tanques receptores que funcionan cerrados y aislados para evitar pérdidas de calor. Pero como la cantidad de agua requerida será siempre mayor a la proporcionada por los condensados, siempre se hace necesaria una cantidad de agua de repuesto con la cual se compensa el faltante y se tiene la dotación necesaria.

AISLANTES

Las envolturas aislantes de una tubería de vapor se instalan de diferentes formas, pero en una forma general puede decirse que se encuentran en el mercado en la modalidad de mitades de tubos o medias cañas o bien para aplicarse en forma fluida y revestibles por tela de algodón o fibra de vidrio, aunque el material comúnmente usado es el asbesto, la mezcla de asbesto y magnesia, la fibra de vidrio y la lana mineral.

El espesor de estos aislantes varía de acuerdo con la temperatura del interior de la tubería, pretendiéndose reducir esta temperatura en el lado exterior del aislante a no más de 5 a 10 °C por arriba de la temperatura ambiente, desde luego tomando en cuenta la conductividad térmica del material.

CURVAS DE EXPANSION

Las llamadas juntas o curvas de expansión tienen por objeto absorber la dilatación lineal del material de construcción de la tubería y se construyen en forma de curvas, soldadas e intercaladas en la propia tubería y construidas a base de tubo del mismo diámetro.

III.6.- SISTEMA DE VAPOR DEL LABORATORIO DE INGENIERIA QUIMICA

a) Descripción.

El sistema de vapor que abastece a todo el---

Laboratorio de Ingeniería Química, proviene de la caldera de dicho laboratorio y se encuentra representado en el diagrama adjunto de la figura 3-6 con sus respectivas líneas secundarias.

LINEA - I

Tubería de 3 pulgadas de diámetro. Comprende la salida del vapor de la caldera con su correspondiente válvula de compuerta.

El sentido de flujo del vapor es Oriente-Poniente y en ella se encuentra instalado, a 4.30 m de la salida del vapor de la caldera, un medidor de Orificio conectado a una celda de presión diferencial que indica el consumo del vapor al pasar por dicho medidor.

Sobre esta misma línea y a 6.70 m del medidor anterior, se encuentra la primera curva de expansión, ya fuera del cuarto de calderas y dentro de lo que propiamente es el laboratorio.

A 1.00 m de la curva de expansión se tiene una toma de vapor de 3/4 de pulgada y de la cual sale una derivación hacia el Cambiador de Calor Aletado que se está instalando en el laboratorio.

LINEA - I-A

Tubería de 3 pulgadas de diámetro que corre en sentido Poniente-Oriente, dirigiéndose al fondo del cuarto de calderas. Es una línea de abastecimiento de vapor al 4º piso del edificio principal de la Facultad. Tiene una longitud de 6.20 m desde la salida del vapor de la caldera al fondo del cuarto y una altura de 3.15 m.

LINEA - I-B

Esta es continuación de la Línea I pero su -

su diámetro se reduce a 1 pulgada. Tiene rumbo Oriente-Poniente y una longitud de 12.15 m. Esta línea alimenta de vapor a los Secadores, de Charolas y Rotatorio, con tubería también de 1 pulgada.

LINEA - II

Tubería de 3 pulgadas de diámetro. Sentido de flujo del vapor: Norte-Sur; con curva de expansión instalada a -- 2.40 m del intercambio con la línea I. Sobre la línea II y a 8.70 metros del intercambio con la línea I, se tiene una derivación de 2 pulgadas de diámetro que abastece a los equipos de los Evaporadores de fierro fundido. En esta derivación se tiene una válvula de control automática y una válvula de globo a la entrada de cada evaporador.

LINEA - II-A

Tubería de 2 pulgadas de diámetro. Sentido de flujo del vapor: Sur-Norte; longitud total: 5.00 m. Su extremo se encuentra taponado y listo para agregar cualquier derivación para otros usos. A 1.00 m del intercambio con la línea I sale una derivación de 2 pulgadas y que luego se reduce a 1 pulgada y lleva el vapor hasta la descarga de los calorímetros Isoentálpico y Barril.

LINEA - II-B

Esta es continuación de la línea II pero su diámetro es de 2 pulgadas y su rumbo es Norte-Sur. En el punto donde termina la línea II y comienza la línea II-B, también comienza la línea III, de tal manera que a partir de esta "T" que forman las líneas y a 2.35 m de ella se encuentra una curva de expansión. A 5.70 m de la "T" se encuentra instalado un medidor de orificio que lleva su registro a un medidor de gasto de vapor conectado a una celda de presión diferencial, donde el diámetro

del orificio es de 23.22 mm -0.9143 pulg- y la tubería tiene un diámetro interno de 2.067 pulg. Este aparato de registro mide la suma de vapor al eyector más el vapor de calentamiento a los evaporadores de acero inoxidable.

Sobre la misma línea II-8 y a 2.10 m del medidor de orificio, sube una línea hacia el techo del laboratorio que cambia su diámetro a 3/4 pulgadas y que abastece un Cambiador de Calor que calienta agua para la torre de enfriamiento, y otra derivación, de ella misma, lleva vapor hasta la parte más alta del laboratorio para surtir de vapor al Eyector que produce el vacío en el equipo de acero inoxidable.

LINEA - II-C

Esta es continuación de la línea II-8; su diámetro es de 2 pulgadas y en ella se encuentra un "by-pass" que permite un mejor control del vapor. Esta línea va paralela a la pared vidriera y tiene el sentido del flujo con rumbo Oriente-Poniente, bajando, después de 5.65 m, rumbo a la fosa para abastecer de vapor al equipo de acero inoxidable y al Cambiador de Calor de Coraza y Tubos que se encuentra en la parte más baja del laboratorio.

En el "by-pass" hay dos líneas de expulsión de los vapores condensados, una directa al drenaje y la otra con una trampa de vapor a la salida.

LINEA - III

Esta es una derivación de la línea II. Su diámetro es también de 2 pulgadas y lleva el vapor al lado Poniente del laboratorio.

A 9.15 m del intersicio con las líneas anteriores se encuentra una curva de expansión y a 13.00 m se tiene una derivación de 1 pulgada que inmediatamente se reduce a 1/2"

y que abastece al equipo de cobre que se emplea en las prácticas de Extracción.

En el extremo de esta línea se tiene una tubería de bajada y descarga al drenaje del vapor condensado.

LINEA - III-A

Esta es una derivación de la anterior y tiene rumbo Sur-Norte. También cuenta con su curva de expansión situada a 2.00 m de su derivación. Esta línea abastece unicamente al Cambiador de Calor de Horquilla. Su diámetro es de 1 pulgada.

LINEA - III-B

Esta es otra derivación de la línea III y tiene 2 pulgadas de diámetro. Tiene rumbo Norte-Sur y su curva de expansión se instala a los 4.90 m de la línea III. Surte de vapor a la Olla Vaporizadora, a la Torre de Platos y a un Cambiador de Calor que sirve de Pre calentador en la misma torre, siendo su diámetro de 1 pulgada.

LINEA - III-C

Es continuación de la III-B y tiene rumbo -- Oriente-Poniente. Viaja paralela a la pared Sur del laboratorio. Su diámetro es de 2 pulgadas y abastece un pequeño Alambique para destilación de alcohol y a un equipo de cobre. Su longitud es de 6.70 m y sus líneas de abastecimiento a los equipos anteriores se reduce a 1/2 pulgada.

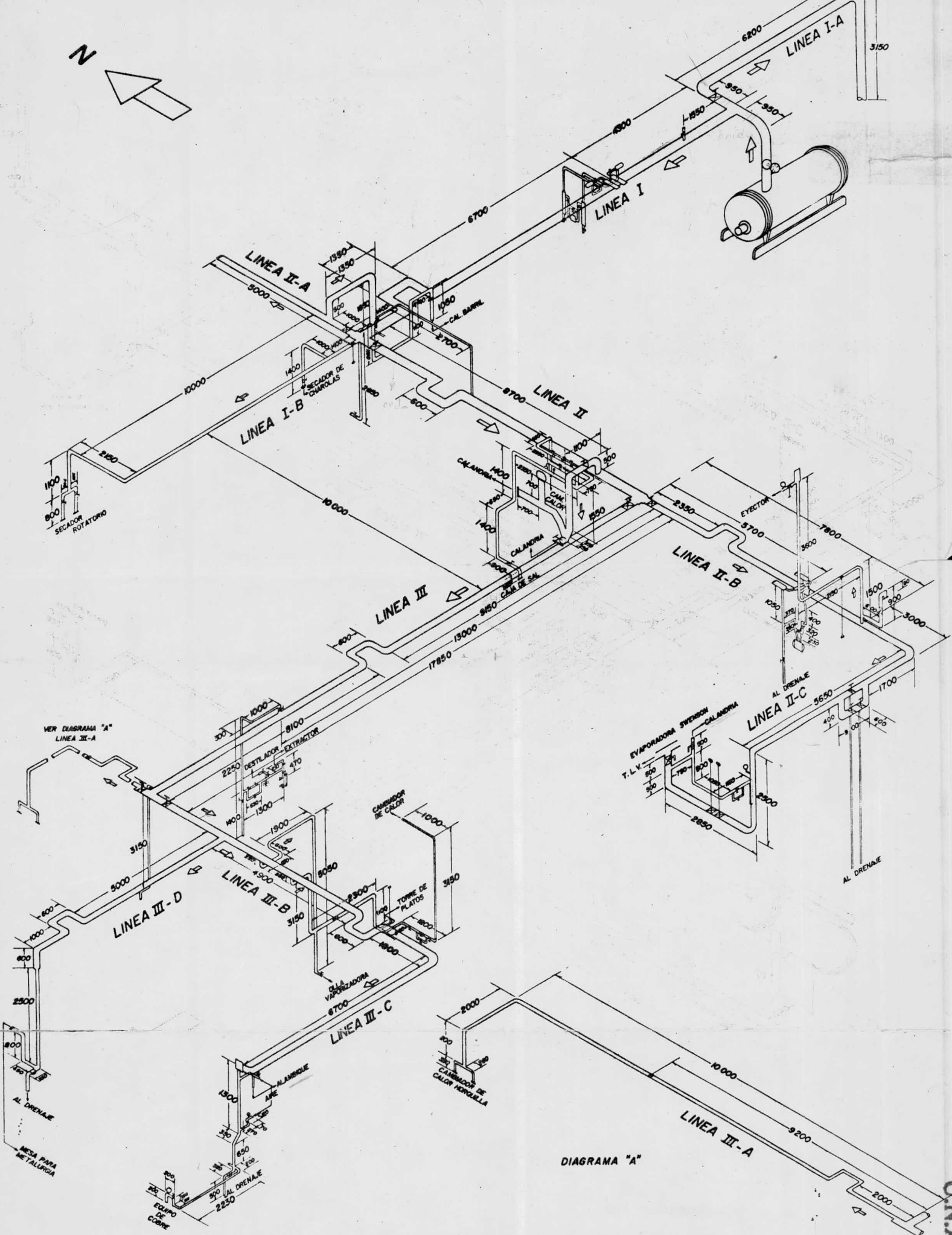
Cabe hacer notar que todo este sistema de vapor se encuentra debidamente aislado con asbesto; que está dotado de líneas de purgas de los condensados y que todas las líneas anteriormente descritas quedan suspendidas del nivel del piso a una

altura de 3.15 m.

LINEA - III-D

Es una derivación de la línea III, de diámetro tiene 2 pulgadas y su derivación de la línea III-B sale a los 2.5 metros de la "T" que forman la línea III, la III-B, y la III-A. Su longitud es de 7.20 m con el diámetro antes anotado y después se reduce éste a 1 pulgada. Esta línea lleva vapor a la Mesa para pruebas de Metalurgia.

Resumiendo podemos decir que en el sistema de vapor del Laboratorio de Ingeniería Química se tienen, aproximadamente, 35.00 m de tubería de 3 pulgadas de diámetro; 74.00 m de tubería de 2 pulgadas y 47.00 m de tubería de 1 pulgada de diámetro en las líneas principales.



REPRESENTACION ISOMETRICA DEL SISTEMA DE VAPOR DEL LAB. DE I.Q.
 ESCALA 1:50 ACOTACION EN mm. REALIZO: A. GONZALEZ

CAPITULO IV

COMBUSTION Y COMBUSTIBLES

COMBUSTION

Antes de abordar este tema, es conveniente recordar algunas definiciones tanto termofísicas como termoquímicas que en algún momento intervienen en forma directa o indirecta cuando se habla de combustión. Estos términos son, por ejemplo, Capacidad Calorífica, Calor de Reacción, Calor de Formación, Calor de Combustión, etc. sin olvidar lo que comprende un Balance de Materia y Energía.

BALANCES DE ENERGIA

De acuerdo con el Principio de Conservación de la Energía, llamado también Primera Ley de la Termodinámica, la Energía es indestructible y la cantidad de energía total que entra en un sistema, debe ser igual a la energía que sale, más cualquier aumento que se produzca dentro del sistema. Una expresión numérica o matemática de este principio la define un balance de energía, el cual en combinación con un balance de materia, es de suma importancia en problemas de diseño y operación de proceso.

Cuando se establece el balance general de energía en un proceso, es conveniente establecer una unidad de tiempo de operación como base de dicho cálculo, por ejemplo, una hora para un proceso continuo y un ciclo para una operación intermitente o por cargas. El proceso continuo comprende aquel en donde una corriente de materiales entra y sale continuamente del mismo, y el proceso intermitente no tiene este tipo de corrientes durante el curso de su operación.

Algunas de las formas separadas de energía y que intervienen, de un modo u otro, en un balance de energía son: la Energía Interna, la Energía o Trabajo de flujo, la Energía Potencial, la Energía Cinética, la Energía suministrada al sistema en forma de calor y la Energía que se pueda eliminar en forma de Trabajo, ya sea Mecánico o Eléctrico.

BALANCE DE CALOR

El Balance de Calor es un término indefinido que comprende una forma especial de Balance de Energía, el cual se ha aplicado a los procesos térmicos donde los cambios de Energía Cinética, Energía Potencial y Trabajo realizado, son de aspecto despreciable.

CAPACIDAD CALORIFICA

Un concepto general de Capacidad Calorífica se define como la cantidad de calor necesario para incrementar la temperatura de un cuerpo un grado. El Calor Específico es la relación de la capacidad calorífica de un cuerpo a la capacidad calorífica de igual masa de agua. El calor específico es una propiedad característica de una sustancia e independiente de cualquier sistema de unidades, pero depende de la temperatura de ambos, de la sustancia y del agua de referencia. Generalmente el cambio referencia es agua a 15 °C.

La capacidad calorífica de cualquier cantidad de una sustancia, matemáticamente se expresa como:

$$C = \frac{dq}{dt} \quad (4.1)$$

donde C es Capacidad Calorífica y dq es el Calor suministrado para un cambio de temperatura dt.

Si una sustancia se calienta a volumen constante y todo el calor agregado contribuye a incrementar la energía interna, entonces la ecuación 4.1 será $dq = dU$, donde U es la Energía Interna. La capacidad calorífica a volumen constante C_V , es igual a la variación de energía interna con la temperatura.

$$C_V = \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_V \quad (4.2)$$

Si una sustancia se calienta a presión cons-

tante, el calor añadido servirá para incrementar la energía interna de la substancia y suministrar la energía equivalente del trabajo mecánico por expansión, así

$$dq = dU + pdV \quad (4.3)$$

y la ecuación se convierte en:

$$C_p = \left(\frac{\partial q}{\partial T} \right)_p = \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_p + p \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_p = \left(\frac{\partial H}{\partial T} \right)_p \quad (4.4)$$

donde C_p es la capacidad calorífica a presión constante.

Cuando se habla de un gas ideal, $pV = nRT$, y la energía interna es independiente del volumen o de la presión, por lo tanto:

$$\left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_v = \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_p \quad (4.5)$$

y así la ecuación 4.2 se transforma, sobre la base de una mol en:

$$C_p = C_v + R \quad (4.6)$$

donde C_p y C_v son las capacidades caloríficas molares a presión y volumen constante respectivamente.

La capacidad calorífica de una substancia que se dilata por el incremento de temperatura, es mayor cuando se calienta a presión constante que cuando se calienta a volumen constante, debido al equivalente en calor del trabajo externo realizado en la expansión.

Para un gas ideal, la capacidad calorífica molar, bajo condiciones de presión y volumen constantes, difiere por la magnitud de la constante R .

ECUACIONES EMPIRICAS

Para intervalos de temperatura arriba de 300 °K, la capacidad calorífica molar de gases comunes, puede representarse por una ecuación cuadrática para intervalos de 300 a -- 1500 °K, esta ecuación es:

$$C_p = a + bT + cT^2 \quad (4.7)$$

donde T es temperatura en grados Kelvin y las unidades de C_p son, cal/g mol $^{\circ}K$.

Las constantes a, b y c de la ecuación 4.7 se presentan en la tabla No 16 del Chemical Process Principles I, - Hougen & Watson, Ref. Bibliográfica 3, y para intervalos de temperatura de 300 a 1500 $^{\circ}K$ a presión cero, en la tabla No 17.

Para determinar la capacidad calorífica de hidrocarburos gaseosos, Fallon y Watson, Ref. Bib. 4, propusieron dos ecuaciones para cada gas con el fin de cubrir los dos intervalos correspondientes de temperatura, así: para temperaturas de 50 a 1400 $^{\circ}F$ se emplea la ecuación 4.7.

Para temperaturas de -300 a +200 $^{\circ}F$:

$$C_p = 7.95 + uTV \quad (4.8)$$

donde T = $^{\circ}R$ y C_p es la capacidad calorífica molar.

La tabla No 18, Ref. Bib. 3, muestra los valores de las constantes de estas ecuaciones para parafinas y olefinas volátiles a baja presión.

Para calores específicos de vaporización de fracciones de petróleo, los mismos autores recomiendan la siguiente ecuación para intervalos de temperatura de 0 a 1400 $^{\circ}F$.

$$C_p = (0.0450 K - 0.233) + (0.44 + 0.0177 K) \times 10^{-3}t - 0.153 \times 10^{-6} t^2 \quad (4.9)$$

Donde t = $^{\circ}F$, C_p = calor específico y K es el Factor de Caracterización que se definirá más adelante. La ecuación 4.9 está graficada en la figura No 6, Ref. Bib. 3, la cual se aplica a fracciones de petróleo e hidrocarburos que contienen más de cuatro átomos de carbono.

Según la Ley de Dulong y Petit, la capacidad calorífica de los elementos sólidos cristalinos, son casi constantes e iguales a 6.2 cal por g-at. Esta regla se aplica satisfactoriamente para elementos que tienen pesos atómicos superiores a 40

cuando se consideran a condiciones de volumen y temperatura ctes.

La capacidad calorífica de una mezcla heterogénea, es una propiedad aditiva, siendo la capacidad calorífica total la suma de las capacidades caloríficas de los componentes. Cuando se forma una solución, esta propiedad aditiva desaparece.

Las capacidades caloríficas de varios elementos y óxidos se presentan gráficamente en las figuras No 63 y 64 del Hougen y Watson.

La Regla de Kopp dice que la capacidad calorífica de un compuesto sólido es aproximadamente igual a la suma de las capacidades caloríficas de los elementos que lo forman. Kopp mostró que la capacidad calorífica atómica, en cal por g-at, se asignaba a los elementos a 20 °C, de la siguiente manera: C 1.8; H 2.3; B 2.7; Si 3.8; O 4.0; F 5.0; P 5.4 y todos los demás 6.2. La regla anterior debe usarse solo cuando se carece de datos experimentales, pues la capacidad calorífica de los sólidos aumenta con la temperatura y por lo tanto no puede aplicarse cuando se trata de intervalos grandes.

Con respecto a los líquidos, poco puede generalizarse ya que la mayoría de los líquidos aumenta su capacidad calorífica al aumentar la temperatura. Esto hace que la capacidad calorífica en el estado líquido sea mayor que en el estado sólido o en el gaseoso. Cuando se carece de datos experimentales, puede aplicarse la Regla de Kopp, asignando los siguientes valores de capacidad calorífica atómica a 20 °C a los átomos de los líquidos de acuerdo a R.R. Wenner: C=2.8; H=4.3; B=4.7; Si=5.8; O=6.0; -- F=7.0; S=7.4 y todos los demás un valor de 8.0 cal por g-at.

Para hidrocarburos líquidos, Fallon y Watson, Ref. Bib. 4, recomiendan la siguiente ecuación para determinar la capacidad calorífica a temperaturas entre 0 °F y temperaturas reducidas de 0.85.

$$C_p = (0.355 + 0.128 \times 10^{-2} \text{ API}) + (0.503 + 0.117 \times 10^{-2} \text{ API}) \times 10^{-3} t \quad 0.05K + 0.41 \quad (4.10)$$

donde $t = \text{°F}$ y K es el Factor de Caracterización.

La figura 4-0 representa gráficamente esta relación para hidrocarburos parafínicos. La curva de la gráfica principal se aplica directamente para valores del factor de caracterización de aproximadamente 11.8. Para otros materiales o valores diferentes al anterior, la lectura de la gráfica principal se multiplica por un factor de corrección derivado como una función del factor de caracterización, como se muestra en la esquina inferior derecha de la gráfica 4-0.

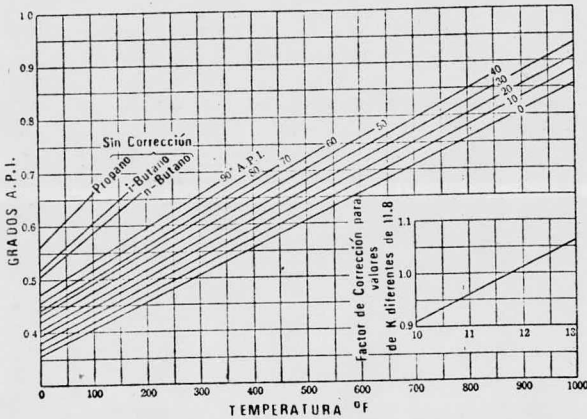


Fig. 4-0.- Calor Específico de aceites de petróleo, líquidos, donde $K=11.8$

El agua es el líquido con la capacidad calorífica más alta, con excepción del amoníaco y algunos compuestos orgánicos. El calor específico de soluciones acuosas en general disminuye con el aumento en la concentración del soluto. En soluciones diluidas, la capacidad calorífica de soluciones acuosas, es casi igual a la del agua presente. Las figuras de la 67 a la 71 y las tablas 22 y 23 del Hougen y Watson, Ref. Bib. 3, muestran las capacidades caloríficas de soluciones acuosas de ácidos, bases y sales a 20 °C y valores para algunos líquidos comunes, respectivamente.

CALOR DE REACCION

El calor de una reacción química, es el calor que se desprende o se absorbe en el curso de la reacción. Dicho - en otra forma, éste es igual a la variación de la entalpia del sistema para la reacción del proceso a presión constante. Este calor de reacción depende no solamente de la naturaleza química de cada reactivo y producto, sino también de su estado físico.

CALOR DE FORMACION

El calor de formación de un compuesto es un caso especial de calor de reacción, en donde los reactivos son los elementos necesarios y el compuesto en cuestión es solamente el producto formado. El calor molar de formación de un compuesto representa, a menos que se diga otra cosa, el calor de reacción - H_3 cuando una mol del compuesto se forma a partir de los elementos, comenzando y terminando a 25 °C y 1 atm de presión. El calor de formación de un compuesto es positivo cuando su formación, a partir de sus elementos, se acompaña de un incremento en la entalpia. A este compuesto se le llama Endotérmico. Un compuesto cuyo calor de formación es negativo, se le llama compuesto Exotérmico.

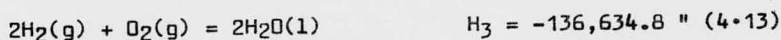
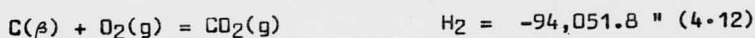
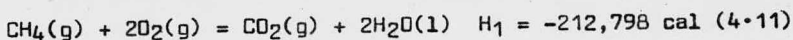
La Termoquímica establece algunas leyes cuando del calor de formación se trata. Por ejemplo Lavoisier y Laplace establecieron en 1780 que a una presión y temperatura dada, la cantidad de energía necesaria para descomponer un compuesto químico en sus elementos, es exactamente igual a la desprendida en la formación de este compuesto a partir de sus elementos. Por ejemplo el calor de formación del cloruro de sodio es de -98,232 cal. la misma cantidad de energía que necesita para descomponerse en sodio y cloro.

Otro punto importante es la ley de Hess, formulada en 1840, que establece que el cambio total de entalpia de un sistema depende de la temperatura, presión, estado de agrega-

ción y estado de combinación al inicio y al final de la reacción y es independiente del número de reacciones químicas involucradas.

A partir de este principio es posible calcular el calor de formación de un compuesto a partir de una serie de reacciones que no intervienen directamente en la formación del compuesto, pues la mayoría de éstos no pueden prepararse en estado puro a partir de sus elementos.

Considerando a las reacciones químicas como ecuaciones algebraicas es posible emplear el principio de Hess con efectividad en los cálculos del calor de reacción donde interviene una serie de reacciones intermedias. Un ejemplo claro de esta situación la presentan los hidrocarburos, que directamente, es imposible medir el calor de formación. Sin embargo, un hidrocarburo puede oxidarse completamente a CO_2 y agua y su calor de reacción puede medirse a partir de los calores de formación de los otros - compuestos presentes en la reacción, es decir, CO_2 y agua. Así:



Sumando 4-12 + 4-13 y restando 4-11



$$\Delta H_5 = \Delta H_2 + \Delta H_3 - \Delta H_1 = -94,051.8 - 136.634.8 - (-212,798) =$$

$$\Delta H_5 = -17,888.6 \text{ cal}$$

CALOR DE COMBUSTION

El calor de combustión de una sustancia, es el calor de reacción resultante de la oxidación de la sustancia con Oxígeno molecular. El dato termoquímico sobre compuestos orgánicos, comúnmente se expresa en términos de calores de combustión.

La asignación de valores negativos a los calores de combustión, está de acuerdo con el empleo de variaciones

de entalpia, así como los sinónimos, calor de formación, calor de vaporización, etc. Puesto que la combustión tiene lugar con una reducción en la entalpia del sistema, el valor de H debe ser negativo.

Lo usualmente aceptado como calor de combustión es el que resulta de la combustión de una substancia, en condiciones normales de $P = 1 \text{ atm}$ y $t = 25 \text{ }^\circ\text{C}$. El dato que ordinariamente se presenta para calores de combustión, corresponde a los productos finales de combustión que se encuentran en sus condiciones normales arriba citadas, siendo la mayoría de los productos finales CO_2 gaseoso y agua líquida

El calor de combustión de una substancia depende del grado de oxidación alcanzado. A menos que se especifique un valor diferente, el valor del calor de combustión corresponde a la oxidación completa de todo el Carbono a CO_2 y todo el Hidrógeno a agua líquida. Donde estén presentes otros elementos oxidables, es necesario especificar el grado de oxidación de cada uno para determinar su calor de combustión.

PODER CALORIFICO DE COMBUSTIBLES

El Poder Calorífico de un combustible es numéricamente igual a su calor de combustión pero de signo contrario. Esta propiedad se determina directamente por medidas experimentales, pero también pueden estimarse a partir de su composición y calidad.

El poder calorífico total de un combustible, es el calor que desprende en su combustión completa bajo condiciones constantes de presión y temperatura de $25 \text{ }^\circ\text{C}$ cuando toda el agua inicialmente presente en los productos de combustión y como líquido en el combustible, se condensa. El poder calorífico neto se define en forma similar, excepto que el estado físico del agua después de la combustión se toma como vapor a $25 \text{ }^\circ\text{C}$. El poder calorífico total se denomina también poder calorífico superior o

bruto y al valor neto se le denomina poder calorífico neto o inferior. El poder calorífico neto se obtiene restando del poder calorífico total el calor latente de vaporización a 25 °C del agua formada y vaporizada durante la combustión.

TEMPERATURA DE FLAMA

La temperatura que alcanza un combustible -- cuando se quema con aire u Oxígeno, sin ganancia o pérdida de calor, se denomina Temperatura Teórica de Flama. La temperatura máxima de una flama depende de la naturaleza del combustible, la cantidad de aire usado en su combustión y de la temperatura del combustible y la del aire. Una aplicación de esta temperatura es determinar, por medio de ella, la temperatura de un horno o la temperatura de un hogar de caldera. El cálculo de la temperatura teórica de flama puede efectuarse a partir de la capacidad molar C_{p_i} que cuando se expresa como una función cuadrática de la temperatura, de la forma:

$$C_{p_i} = a_i + b_i T + c_i T^2$$

y si se considera que la suma de las entalpias de n moles de cualquier material que se trata como producto de una reacción, a una temperatura de 298 °C, se expresa como:

$$\Sigma H_p = \Sigma n_i \int_{298}^T C_{p_i} dT + \Sigma n_i \lambda_i \quad (4.15)$$

que al integrar quedaría:

$$\Sigma H_p = \Sigma n_i \left[a_i (T - 298) + \frac{b_i}{2} (T^2 - 298^2) + \frac{c_i}{3} (T^3 - 298^3) \right] + \Sigma n_i \lambda_i \quad (4.16)$$

La temperatura de reacción adiabática, en este caso, temperatura de flama, se obtiene entonces resolviendo la ecuación 4.16 para T , o más fácilmente graficando o dando valores a T hasta que la igualdad se satisface.

Debe hacerse la suposición de que no se realiza ningún trabajo mecánico y que los únicos términos de energía - que intervienen son los de energía interna y el trabajo de flujo. Debe conocerse la composición verdadera de los productos y la temperatura máxima adiabática de flama se alcanza cuando el combustible se quema con la cantidad teórica necesaria de Oxígeno puro. - La temperatura máxima de flama en aire, es la que corresponde cuando la combustión se alcanza con la cantidad teórica de aire y evidentemente es mucho menor que la que se alcanza con Oxígeno puro. Debido a que siempre es necesario emplear un exceso de aire para asegurar la combustión completa, las temperaturas adiabáticas de flama, de la combustión real, son siempre menores que los valores máximos.

La temperatura real de flama siempre es menor que la que se obtiene en la supuesta combustión completa, pues - siempre hay pérdidas de calor en la flama y es imposible obtener una combustión completa a altas temperaturas. La conversión parcial se obtiene estableciendo condiciones definidas de equilibrio entre los reactivos y los productos. Por ejemplo, a altas temperaturas se establece un equilibrio entre el CO, el CO₂ y el O₂, que corresponde a proporciones definidas de los tres gases.

IV.1.- COMBUSTION

En la actualidad la fuente más importante para proveerse de energía es la combustión de combustibles con aire. Los combustibles se encuentran en los tres estados de la materia. Sólidos, como madera, que es muy poco usada como combustible; carbón de madera y coke o carbón de piedra. Líquidos como gasolinas, kerosinas, aceites combustibles, etc. Gaseosos como los derivados gaseosos del petróleo.

IV.2.- AIRE

La composición del aire es afortunadamente -

muy constante pues las únicas variaciones que puede presentar se deben a la contaminación ambiental local, pero no afectan a los procesos de combustión, cuando de cálculos se trata, ni intervienen en las reacciones que se llevan a cabo. La composición del aire seco es como se muestra:

Oxígeno	21.00 % vol
Nitrógeno	78.00 "
Argón	0.94 "
Dióxido de carbono	0.03 "
Otros (Ne, Kr, etc)	0.03 "

El Argón y los otros gases raros se reportan como Nitrógeno y la composición del aire se puede expresar como 21% de Oxígeno y 79% de Nitrógeno. La base en peso de la composición del aire es 23.2% de Oxígeno y 76.8% de Nitrógeno, necesitando 4.31 Kg de aire seco para dar 1.0 Kg de Oxígeno.

El peso molecular promedio del aire es 28.97. El Nitrógeno atmosférico tiene un peso molecular promedio de -- 28.17, alrededor de 0.6% mayor que el Nitrógeno puro. Otras propiedades físicas del Nitrógeno atmosférico difieren solo 0.2% del Nitrógeno puro.

IV.3.- CARBON Y COKE

El principal constituyente del carbón mineral y del coke, es el carbono, y las propiedades de estos carbones difieren de un lugar a otro, necesitando pruebas para especificar sus comportamientos. Las propiedades que deben considerarse importantes para usar el carbón como combustible son:

- 1) Valor calorífico.
- 2) Análisis aproximado.
 - Humedad (perdida a 105 °C en 1 hr)
 - Materia Volátil
 - Cenizas (residuos después de quemarse)
 - Carbón Fijo.

3) Punto de fusión de cenizas.

4) Análisis final % C, H, N, O y S.

La suma de Carbón Fijo y la Materia Volátil - de un carbón, se denomina Combustible.

Un análisis típico de un carbón se presenta - en dos formas: Un análisis primario que determina la mayoría de los elementos químicos y un segundo análisis para definir grupos de constituyentes, como se muestra a continuación:

Análisis primario		Análisis siguiente	
Carbón	66.60 %	Carbón fijo	50.34 %
Hidrógeno	3.25	Materia volátil	30.68
Nitrógeno	1.42	Ceniza	9.37
Azufre	0.49	Humedad	9.61
Ceniza	9.19		<u>100.00 %</u>
Humedad	9.61		
Agua combinada	<u>9.44</u>		
	100.00 %		

Estos análisis son los que se toman como base en los balances de materia y energía.

OXIGENO.- Todo el Oxígeno presente en un carbón, está formando parte del agua.

NITROGENO.- Se presenta en pequeñas cantidades en todos los carbones.

AZUFRE.- Se presenta en muchos carbones.

CENIZAS.- Es el residuo del carbón después de quemarse.

HUMEDAD.- Es el agua existente en el carbón - como humedad de superficie o como parte integral de la estructura del carbón.

CARBON TOTAL.- Es la suma del carbón fijo más el que hay en la materia volátil. El carbón fijo es el que no des^utila al calentarse y es lo que se llama COKE.

HIDROGENO.- Es el existente en la materia volátil y en la humedad.

Si solo se tiene un análisis aproximado, se

puede obtener el análisis siguiente a partir de los datos de materia volátil y carbón fijo, en un análisis libre de humedad y ceniza a partir de las siguientes relaciones:

$$\% H = \% MV \frac{7.35}{\% MV + 10} - 0.013$$

$$\% N = 0.07 MV \quad \text{para antracita y semiantracita}$$

$$\% N = 2.1 - 0.012 MV \quad \text{para bituminoso y lignito}$$

$$\% C = CF + 0.9 (MV - 10) \quad \text{para semiantracita}$$

$$\% C = CF + 0.9 (MV - 14) \quad \text{para bituminosos}$$

$$\% C = CF + 0.9 (MV - 18) \quad \text{para lignito}$$

donde MV es materia volátil y CF es el carbón fijo.

IV.4.- CALIDAD DEL CARBON

Los carbones se clasifican en base a la proporción de combustible que contienen, es decir la relación entre el porcentaje de carbón fijo y el de materia volátil.

Carbón	Proporción de combustible CF/MV
Antracita	de 10 a 60
Semiantracita	de 6 a 10
Semibituminoso	de 3 a 7
Bituminosos	de 1/2 a 3

a) ANTRACITA.

Es un carbón muy duro, con lustre, tiene alto porcentaje de carbón fijo y menos del 8% de materia volátil. Tarda en quemarse a menos que la temperatura del horno sea elevada. Se quema con flamas pequeñas y es muy recomendable cuando se desea - una combustión sin humo.

b) SEMIANTRACITA

Tiene menos carbón fijo que la antracita, no tiene tanto lustre y se quema con flamas más largas y luminosas. Contiene de 8 a 14% de materia volátil.

c) SEMIBITUMINOSO

Este es un carbón más blando que la antracita. Contiene de 14 a 22% de materia volátil y tiene una gran tendencia a romperse en pequeños fragmentos.

d) BITUMINOSO

Son carbones blandos con alto porcentaje de materia volátil. Se quema con llamas amarillas y con humo. Tienen entre 25 y 45% de materia volátil y una humedad entre 6 y 17%

e) SEMIBITUMINOSO

Se les conoce también con el nombre de lignitos negros, tienen apariencia de madera y se desbarata fácilmente. Tienen un contenido de materia volátil entre 35 y 45% y su humedad se encuentra entre el 17 y el 20%.

f) LIGNITOS

Tienen bajo poder calorífico, alta humedad y gran contenido de cenizas. Su humedad está entre 30 y 45%. Si no se guardan correctamente tienden a quemarse espontáneamente. Tienen apariencia de madera.

En la combustión de los carbones hay complicaciones debido a las cenizas, pues estas se retiran del fondo del horno pero generalmente contienen carbón que no se ha quemado totalmente; así la pérdida de este combustible debe tomarse en cuen

ta cuando se efectúan los balances de materia del proceso. Esta cantidad de carbón sin quemar se obtiene por un balance de ceniza. Se supone que toda la ceniza se recoge como escoria, pero algo se colecta en la chimenea o vuela y esto es ordinariamente despreciable a la hora de los cálculos.

g) MADERA

Es otro combustible sólido que no es de gran importancia comercial, pues tiene un alto contenido de humedad, llegando en ocasiones hasta el 50% cuando se trata de madera fresca y hasta 10% después de exponerse al aire por cierto tiempo. Su poder calorífico varía de 8300 a 9000 BTU/lb. En algunos lugares se emplea la viruta y el aserrín como combustible.

h) COKE

Es el residuo sólido procedente de la destilación destructiva del carbón. Es el carbón fijo que queda después de eliminar la materia volátil y la humedad. Es un combustible limpio y sin humo y su empleo es bastante frecuente.

IV.5.- PODER CALORIFICO DE UN CARBON

El poder calorífico determina la cantidad de energía que se puede obtener por combustión de una cierta cantidad de material. Se determina directamente por métodos calorimétricos y se expresa en BTU/lb o en KCal/Kg. El método aproximado para determinar el poder calorífico del carbón se basa en que cada uno de los constituyentes del combustible está presente en su estado elemental, como el carbono, el hidrógeno, el azufre, etc. En base a esta suposición el poder calorífico es la suma de los calores desarrollados en la combustión por cada uno de estos elementos, usando el poder calorífico del carbono amorfo para el --

carbono y para el azufre el poder calorífico de FeS_2 .

Elemento	Poder calorífico
Carbón	14,490 BTU/lb
Hidrógeno (total)	61,000 "
Hidrógeno (neto)	51,610 "
Azufre	5,500 "

Una de las fórmulas que se emplean con bastante exactitud en los cálculos del poder calorífico, es la siguiente:

$$PC = 14,490 C + 61,000 H + 5,500 S \quad (4.17)$$

Donde PC = Poder calorífico en BTU/lb y C, H, S es fracción en peso de carbón, hidrógeno y azufre.

La fórmula anterior se conoce con el nombre de fórmula de Dulong y el valor que se obtiene no es teóricamente exacto, ya que se desprecian los calores de formación de los compuestos de carbono, hidrógeno y azufre.

La fórmula modificada de Dulong, se representa en la forma siguiente:

$$PC = 155.44 C + 621 \left(H - \frac{1}{8} O_2 \right) + 40.5 S \quad (4.18)$$

Donde: C = % carbono; H = % hidrógeno; O = % oxígeno; S = % azufre.

Si el análisis final se expresa en base libre de humedad y cenizas, el valor del poder calorífico estará en las mismas bases. Si se quiere conocer el poder calorífico del carbón tal como se recibe, se multiplica por el siguiente factor para poder conocerlo en la base anterior.

$$\frac{100}{100 - \% \text{ ceniza} - \% \text{ humedad}}$$

Por medio de la gráfica de la figura 4.1 y el análisis aproximado del carbón, se puede obtener el poder calorí-

fico del carbón y la Tabla 4.2 muestra las propiedades de combustión de los elementos que comúnmente se encuentran en el carbón y se emplea también para cálculos de combustión cuando se trata de combustibles líquidos o gaseosos.

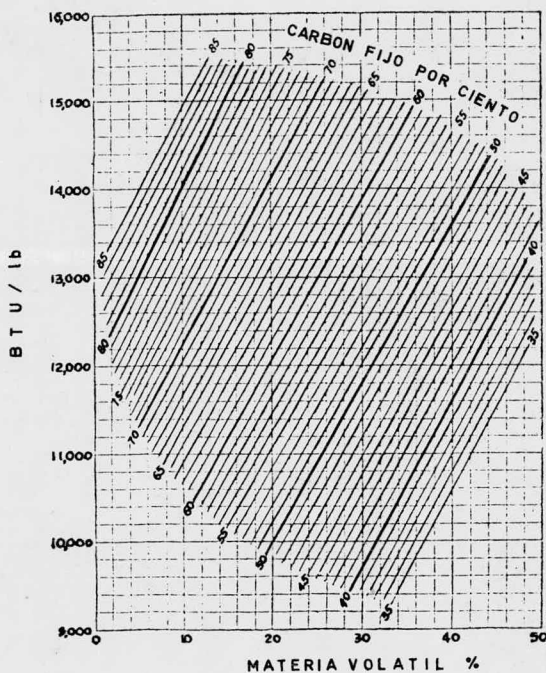


Fig. 4-1.- Poder Calorífico de carbones



QUIMICA

Análisis de algunos carbonos

TABLA 4-1

	M.V.	C.F.	C	H	O	N	S	P.C.	H ₂ O	Ceniza
COKE	1.5	98.5	96.8	0.6	0.8	1.2	0.9	12 100	1.3	10
ANTRACITA	7.3	92.7	93.5	2.6	2.3	0.9	0.7	15 100	4.0	10
BITUMINOSO	31.4	68.6	86.0	5.2	6.3	1.5	1.0	15 520	4.0	8
SUB BITUMINOSO	42.6	57.4	72.1	5.6	17.4	2.0	2.9	14 000	15.3	6.7
LIGNITO	56.7	43.3	73.6	4.5	16.6	2.2	2.1	12 560	36.0	12.1

Los combustibles que tienen hidrógeno, tienen dos poderes caloríficos: el alto y el bajo. La combustión del hidrógeno produce vapor de agua que escapa a la temperatura de los gases de chimenea. El poder calorífico bajo es el calor liberado por libra de combustible después de que se ha descontado el calor necesario para vaporizar el agua formada a partir de hidrógeno.

El poder calorífico alto, es el obtenido en un calorímetro a volumen constante, en el cual el vapor de agua producido se condensa y el calor se recobra.

El cálculo de los productos de combustión formados, la cantidad de aire necesario y la composición de gases de chimenea se puede basar en la tabla 4-2, la cual se basa en el uso del PCN o SCF, pie cúbico normal de aire, que en combustión se define como la cantidad de gas contenido en 1 pie³ de gas a 60 °F y a 30 pulgadas de Mercurio, por lo tanto, 1 lb mol de gas perfecto es igual a 378.7 PCN.

Para facilitar los cálculos del calor llevados por los gases de combustión, se puede recurrir a las gráficas de calor sensible de las figuras No 4-2, 4-3, 4-4 y 4-5.

IV.-6.- AIRE EN EXCESO

El porcentaje de aire en exceso que existe en la combustión, puede calcularse a partir de los gases de chimenea en tres formas distintas:

- 1) Por la fórmula siguiente:

TABLA 4-2

Propiedades de combustión del Carbón y los constituyentes de coke

I Poder Calorífico	Carbón	Hidrógeno	Oxígeno	Nitrógeno	Azufre
en bruto, BTU/lb					
1.- Como elemento libre	14 100	61 042	0.0	0.0	3.983
2.- En Carbon (Dulong)	15 544	62 100	-7.762	0.0	4.050
II Aire teorico requerido					
1.- En Peso lb/lb combustible	11.48	34.26	- 4.31	0.0	4.30
2.- En Volúmen PCN/lb comb.	150.0	447.8	- 56.3	0.0	56.2
III Productos primarios de combustión con Oxígeno					
	CO ₂	H ₂ O		N ₂	SO ₂
1.- En Peso lb/lb comb.	3.668	8.936	---	1.0	1.998
2.- En Volúmen PCN/lb comb.	31.38	188.7	---	13.52	11.69
IV Nitrógeno en los productos de combustión con aire teórico					
1.- En Peso lb/lb comb.	8.82	26.31	-3.31	1.00	3.30
2.- En Volúmen PCN/lb comb.	118.5	353.6	-44.5	13.5	44.4

$$\% \text{ exceso} = \frac{\% \text{ O}_2 - \frac{1}{2} \% \text{ CO}}{\frac{29}{79} \% \text{ N}_2 - (\% \text{ O}_2 - \frac{1}{2} \% \text{ CO})} \times 100 \quad (4-19)$$

Esta fórmula se aplica cuando:

- a) El combustible no tiene Nitrógeno.
- b) Los gases de chimenea contienen únicamente CO₂, CO, O₂, N₂ y SO₂. Sin embargo pequeñas cantidades de Nitrógeno en el combustible no impiden la aplicación de dicha fórmula.

2) Por el Nomograma de la figura H-7 del Manual for Process Engineering Calculations, Ref. Bib. 2.

3) Por la fórmula siguiente:

$$E = 7900 \frac{b - a}{a (100 - b)} \quad (4-20)$$

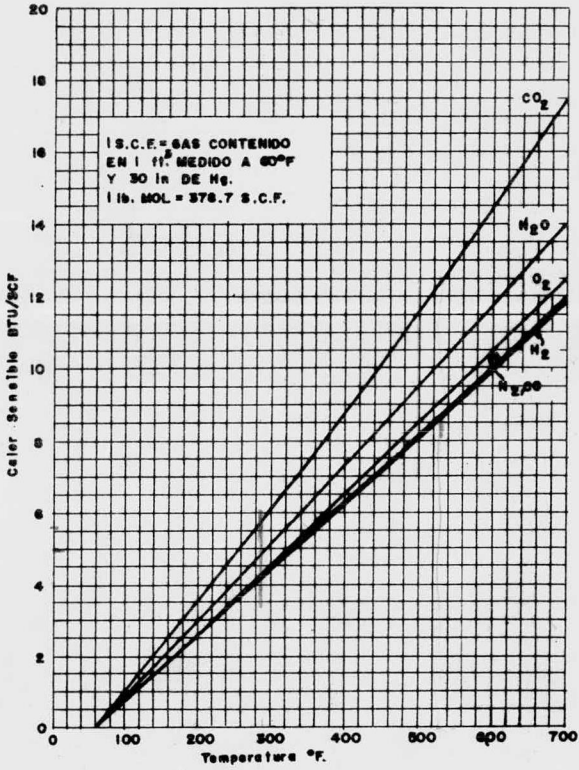


Fig. 4-2.-Calor Sensible de gases comunes

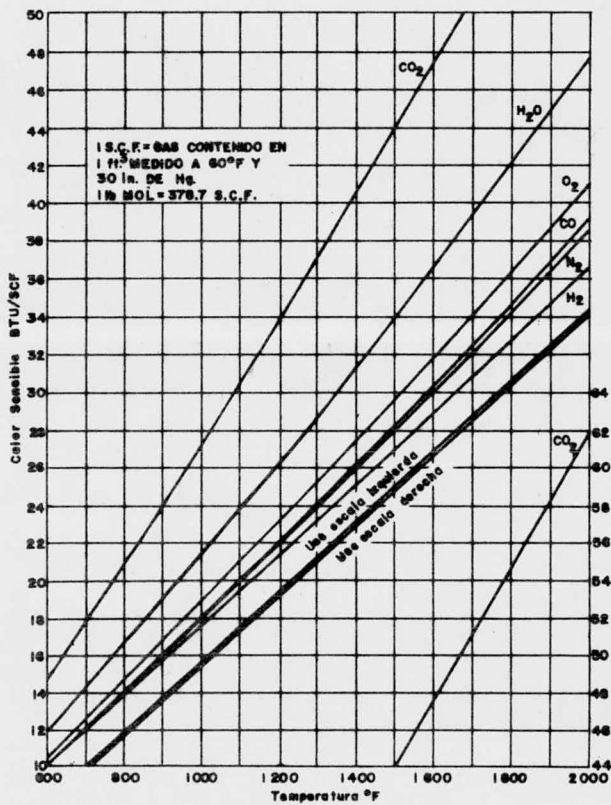


Fig. 43.- Calor Sensible de gases comunes

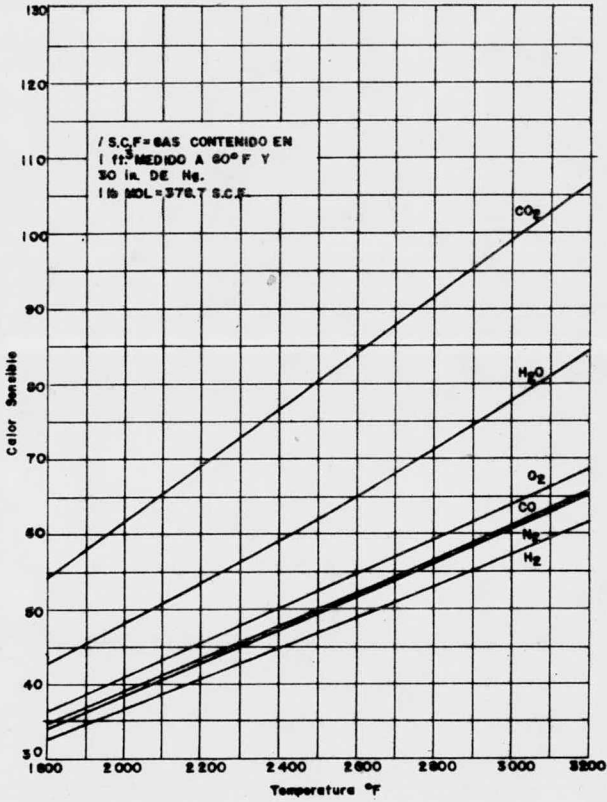


Fig. 4.4.- Calor Sensible de gases comunes

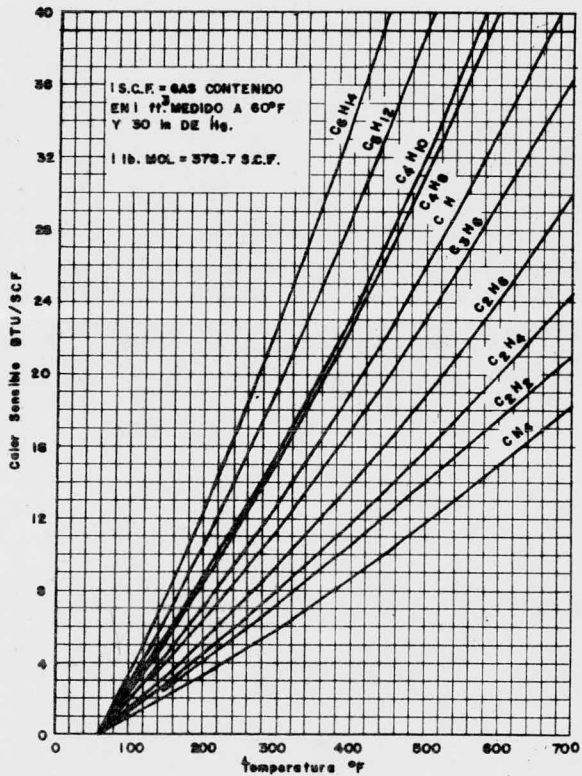


Fig. 4-5.- Calor Sensible de gases comunes

Donde: E = % de aire en exceso

a = % de CO₂ (+ CO, si está presente)

b = % de CO₂ en combustión perfecta

Teóricamente, la máxima eficiencia en la combustión se alcanza cuando se emplea la mínima cantidad de aire en exceso. Con frecuencia, el exceso de aire se emplea para reducir la temperatura de la flama. En la práctica es muy común encontrar aire en exceso hasta en más de 100%.

IV.7.- COMBUSTIBLES LIQUIDOS

Los combustibles líquidos son mezclas de hidrocarburos y contienen en general, Carbono, Hidrógeno, Azufre, Oxígeno y Nitrógeno.

a) PETROLEO

El más importante de los combustibles actuales es el Petróleo, el cual es una mezcla compleja de hidrocarburos e incluye cuatro series significativas de compuestos: parafinas, naftalinas, olefinas y aromáticos. Estos compuestos difieren en su contenido de hidrógeno en el siguiente orden: las parafinas tienen el contenido más alto y los aromáticos el más bajo. En productos craqueados formados por la descomposición de aceites naturales, pueden estar presentes grandes cantidades de olefinas y aromáticos. Debido a la complejidad del petróleo, la determinación de los compuestos presentes, no es real. Se efectúan análisis elementales que determinan carbono, hidrógeno, azufre y nitrógeno, pero no dan mucha idea del aceite y sus propiedades, por ello se emplean propiedades físicas tales como, rango de destilación, densidad relativa y viscosidad.

El caracter general de un aceite lo da su parafinidad, que aunque no es una medida química verdadera, da una

idea clara del aceite que se trata pues involucra el punto de ebullición promedio y la densidad del aceite. Se le conoce como Factor de Caracterización el cual surge de la observación de que cuando un aceite crudo, que se supone uniforme, se fracciona en cortes pequeños, la densidad de cada corte es aproximadamente proporcional a la raíz cúbica de sus puntos de ebullición absolutos a 1 atm. El factor de proporcionalidad puede entonces tomarse como un índice de parafinidad.

$$K = \frac{\sqrt[3]{T_b}}{\rho} \quad (4.21)$$

Donde: K = UOP o Factor de Caracterización

T_b = Punto de ebullición promedio en °R a 1 atm de presión

ρ = Densidad a 60 °F

El Factor de Caracterización muestra gran regularidad a través del intervalo de destilación de un gran número de crudos y para otros, puede aumentar en el intervalo más alto de ebullición.

El factor de caracterización se calcula rápidamente a partir de los valores de densidad y punto de ebullición promedio y aplicando la ecuación 4-21, o puede leerse directamente a partir de la densidad en °API y punto de ebullición promedio de la figura No 4-6.

En la figura No 4-7 se encuentra graficada la viscosidad en centistokes a 122 °F contra la densidad API y diversos factores de caracterización con líneas de puntos de ebullición graficados en la misma figura.

El peso molecular promedio de fracciones de petróleo puede estimarse a partir del punto de ebullición promedio y la densidad. La variedad de aromáticos de bajo factor de caracterización tienen pesos moleculares más bajos que los materiales parafínicos del mismo punto de ebullición promedio. Las relaciones entre peso molecular, factor de caracterización, punto de ebullición y densidad API se representan en la figura 4-6.

Si no se dispone del punto de ebullición, este

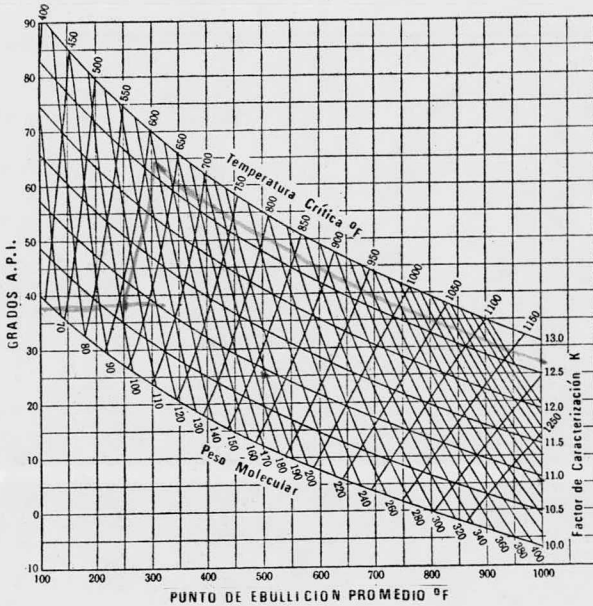


Fig. 4-6.- Peso Molecular, Temperatura Crítica y Factor de Caracterización de fracciones de petróleo

puede estimarse a partir de la viscosidad usando la figura 4-7.

En la figura 4-6 se incluyen las temperaturas críticas con un pequeño error para hidrocarburos puros, pequeños cortes de petróleo o mezclas de punto de ebullición amplio.

Para conocer el contenido de Hidrógeno puede usarse la figura 4-8 que representa la relación entre el contenido de hidrógeno y el factor de caracterización para materiales de punto de ebullición constante. Esta figura es una combinación con la figura 4-7 y permite conocer el contenido de hidrógeno conociendo solamente la densidad y alguna otra propiedad. El error será menor de 0.5% basado en el peso total del aceite, excepto para aromáticos muy altos.

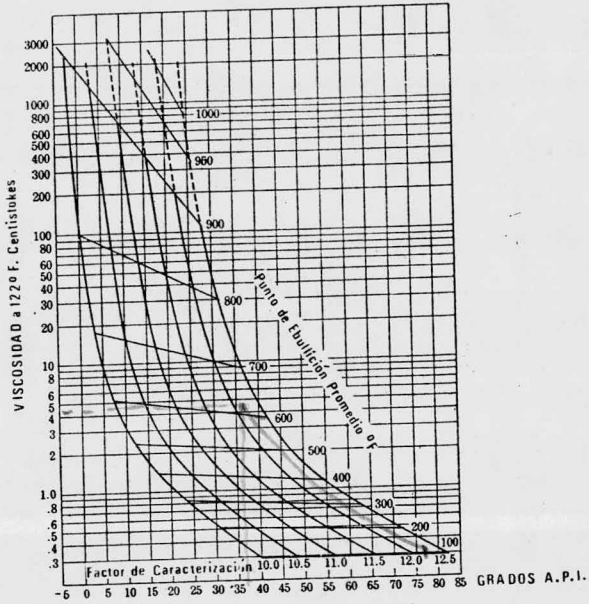


Fig. 4-7.- Factor de Caracterización vs Viscosidad

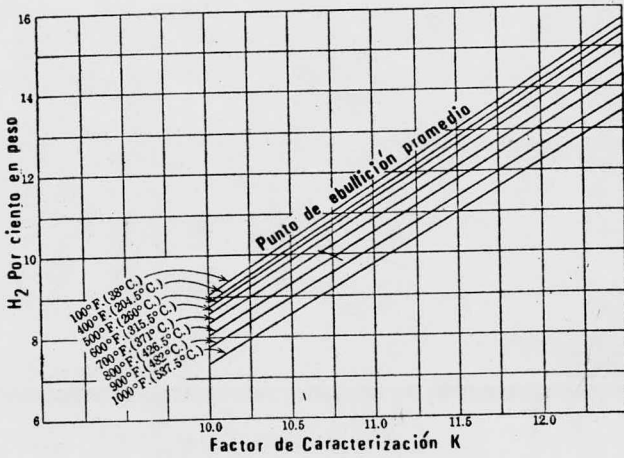


Fig. 4-8.- Factor de Caracterización vs % en peso de Hidrógeno

Los aceites de petróleo, ordinariamente contienen poca ceniza y como no se cuenta con datos específicos, - puede tomarse como 97% de carbón e hidrógeno y el resto oxígeno nitrógeno, azufre y ceniza. Esta consideración no puede tomarse para aceites con alto contenido de azufre como las variedades de California y México.

El Calor de Combustión de un aceite se puede obtener a partir del factor de caracterización K y la densidad API según la grafica de la figura 4-9.

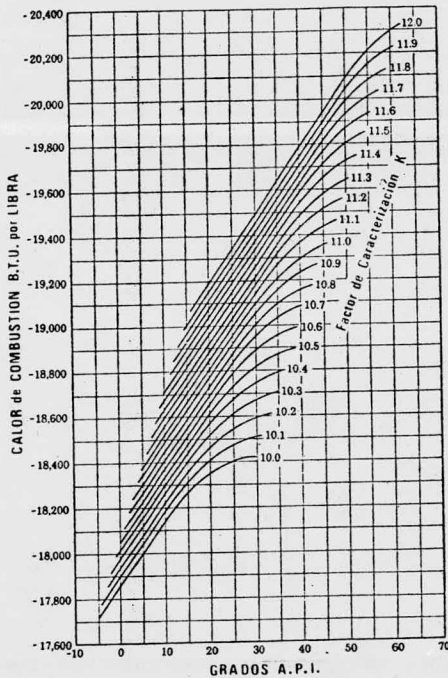


Fig. 4-9.- Calor total de combustión de hidrocarburos líquidos

Los aceites combustibles también suelen clasificarse en aceites ligeros, medianos y pesados. Los aceites pesados son los más baratos y de más demanda. Datos importantes de los aceites son el punto de flasheo y el de flama; un aceite de bajo punto de flasheo es muy útil porque presenta la seguridad de no provocar la ignición fácilmente a causa de los vapores que produce y que no son suficientes, por lo tanto se evitan muchos accidentes.

Los aceites ligeros se usan para servicio doméstico y turbinas. Los medianos y pesados se usan como combustibles de calderas, en barcos o en plantas industriales. Para usar los aceites pesados, generalmente se precalientan para disminuir su viscosidad y se usan toberas de atomización.

Un análisis típico de estos aceites es el siguiente:

TABLA 4-3

	C	H	S	N	O	H ₂ O
Aceite ligero	84	13	0.8	0.2	1.0	1.0
Aceite mediano	85	12	0.8	0.2	1.0	1.0
Aceite pesado	86	11	0.8	0.2	1.0	1.0

El poder calorífico de los aceites se encuentra entre los 130,000 y 153,000 BTU/gal. Este valor generalmente se determina experimentalmente, pero si no se conoce se puede emplear la gráfica de la figura 4-9, conociendo la densidad API.

Otros combustibles líquidos son los alquitranes, tales como el alquitrán destilado del carbón, el aceite de creosota, el antraceno, cuyos poderes caloríficos están entre 15,000 y 16,500 BTU/lb. Con 83.5% a 85.0% de Carbono y 15.0% a 15.8% de Hidrógeno se tiene un poder calorífico de 20,000 BTU/lb.

Las gasolinas son combustibles líquidos con alto contenido de carbono, aproximadamente 85%, hidrógeno y muy bajo contenido de azufre, cuyos puntos de ebullición están por los 625 °F y su punto de flasheo en los 115 °F.

TABLA 4.4

CLASIFICACION GENERAL DE LOS ACEITES

No	Uso principal	°API		
1	Aceite destilado para quemadores que requieren aceite volátil	35 - 40	6.879 - 7.085	135,800
2	Para uso doméstico	26 - 34	7.12 - 7.490	139,400 144,300
3	Para quemadores de aceite de baja viscosidad			
4	Para instalaciones sin precalentamiento del combustible	24 - 25	7.538 - 7.582	145,000 145,600
5	Para quemadores con precalentamiento de 70 a 220 °F	18 - 22	7.680 - 7.891	146,400 146,800
6	Para quemadores de aceite de alta viscosidad 220 a 260 °F	14 - 16	7.998 - 8.108	150,700 152,000

TABLA 4.5

ESPECIFICACIONES DE UN ACEITE

Punto de flasheo = 100 °F

Punto de escurrimiento = 20

Agua y sedimentos % vol = 0.1

Cenizas % en peso = 1.0

Intervalo de destilación 10% punto final 675 °F

Viscosidad seg Universal a 100 °F = 40

Viscosidad cinemática a 100 °F = 4.3

Densidad °API = 26

IV.8.- COMBUSTIBLES GASEOSOS

La base en la que se expresa el poder calorífico de los combustibles gaseosos es el número de BTU comprendidos cuando un pie cúbico del gas, a una temperatura de 60 °F, a una presión de 30 pulgadas de Mercurio, se quema con aire a la misma temperatura y los productos se enfrían a 60 °F y el agua que se forma en la combustión se condensa al estado líquido.

Puesto que la presión de vapor de agua a 60 °F es 0.52 pulgadas de Mercurio, el poder calorífico de un pie cúbico normal, representa el poder calorífico de un pie cúbico de gas libre de humedad bajo una presión de $30 - 0.52 = 29.48$ pulgadas de Mercurio a una temperatura de 60 °F. El número de moles de gas libre de humedad en ese pie cúbico normal es igual a:

$$1.0 \times \frac{491.7}{519.7} \times \frac{29.48}{29.92} \times \frac{1}{359.05} = 0.0025963 \text{ lb mol}$$

La inversa, o sea $\frac{1}{0.0025963} = 285.2$ pies³ de gas PCN, contenidos en una libra mol de gas libre de humedad, si el gas se comporta como un gas ideal.

El poder calorífico de un gas de composición conocida, puede calcularse como la suma de los calores de combustión de sus componentes.

Los combustibles gaseosos generalmente contienen mezclas complejas de hidrocarburos saturados e insaturados. La determinación analítica de cada componente de estas mezclas no se practica para fines industriales, sin embargo, Watson y Ceaglske describieron un esquema simple para análisis industriales de gases con datos apropiados para calcular los productos de combustión. En este esquema el carbono y el hidrógeno se determinan y se reportan por separado. Las parafinas saturadas de hidrocarburos gaseosos se reportan en términos de un componente hipotético -- C_nH_{2n+2} que representa la composición promedio de la mezcla de parafinas en el gas. En forma similar los hidrocarburos insaturados

o iluminantes se reportan en términos de un compuesto hipotético de composición C_nH_b . Por ejemplo: el análisis de un gas es, CO: 40% H_2 : 42%; $C_{2.5}H_{4.2}$ (iluminantes): 7% y $C_{1.2}H_{4.4}$ (parafinas): 11%

Un análisis de este tipo puede ser tan efectivo como un cálculo estequiométrico, donde todos los componentes se determinan individualmente. El poder calorífico del gas también puede calcularse por medio de las siguientes fórmulas: para hidrocarburos parafínicos C_nH_{2n+2}

$$\text{cal/g mol} = 158,100 n + 54,700 \quad (4.22)$$

$$\text{BTU/pie}^3 \text{ a } 60 \text{ }^\circ\text{F, } 30" \text{ Hg, saturado} = 745 n + 258 \quad (4.23)$$

Para hidrocarburos insaturados:

$$\text{cal/g mol} = 98,200 a + 28,200 b + 28,800 \quad (4.24)$$

$$\text{BTU/pie}^3 \text{ a } 60 \text{ }^\circ\text{F, } 30" \text{ Hg saturado} = 459 a + 132 b + 135 \quad (4.25)$$

Si el análisis de un gas se lleva a cabo cuidadosamente, su poder calorífico puede predecirse por medio de estas ecuaciones con un error menor del 2%.

IV.9.- BALANCE DE ENERGIA

Al establecer un balance de energía, toda fuente de energía térmica figura como un término del balance a la entrada del proceso y toda energía como calor aprovechable y disipación, a la salida del mismo. Esto se emplea con mucha frecuencia pues la base a la que se tienen los datos termoquímicos normales, es la temperatura de 25 °C.

Cuando se emplea un combustible, su poder calorífico se anota por el lado de la entrada en el balance y el poder calorífico de los productos resultantes de la combustión y su reacción, en la salida.

- Entrada: a) Entalpia de cada material que entra al proceso
- b) Poder calorífico del combustible.
 - c) Calor desarrollado por la reacción exotérmica del combustible.
 - d) Energía suministrada al proceso de fuentes externas: calefacción, energía eléctrica, y trabajo mecánico.
- Salida: a) Entalpia de cada material que sale del proceso.
- b) Poder calorífico total de los productos de la combustión incompleta y de la reacción del combustible con la carga.
 - c) Calor absorbido por las reacciones endotérmicas desarrolladas en el proceso.
 - d) Calor total transferido al sistema.
 - e) Energía total perdida en el sistema, como calor, energía eléctrica, energía radiante y trabajo mecánico.

IV.10.- EFICIENCIA TERMICA

La eficiencia térmica de un sistema puede definirse como el porcentaje de calor que entra al sistema y que se utiliza convenientemente. Es un término arbitrario que depende de la designación del calor a la entrada y el calor efectivo empleado. No se define por un valor numérico a menos que ambos términos se especifiquen.

IV.11.- BALANCE DE MATERIA

Pocas veces se hace una medida directa del peso de los productos gaseosos de una combustión por las múltiples dificultades que lleva consigo. Los tubos Pitot miden con inexac-

titud velocidades pequeñas, como las que tienen lugar en los tiros y chimeneas de hornos y calderas. Los medidores de orificio y venturi tampoco ofrecen garantías debido a las bajas caídas de presión que se presentan y debido al hollín que se acumula. Los medidores eléctricos de flujo, dan valores inexactos si la composición del gas varía con respecto al CO_2 o al vapor de agua. En cualquier caso, la medida directa de corrientes gaseosas es muy difícil debido a la variación de temperatura y velocidad de los gases en cada sección del equipo. Debido a esta inseguridad y a la dificultad que presenta, es más fácil y más exacto calcular el peso de los productos gaseosos a partir de las relaciones estequiométricas de la combustión.

El análisis completo de los productos gaseosos CO_2 , CO , O_2 , CH_4 , C_2H_6 , H_2 y N_2 , no incluye el contenido de humedad, pues el análisis se realiza con la muestra de gas saturada de vapor de agua a temperatura y presión constante.

Por lo general se recomienda que el peso de los productos gaseosos secos se calcule a partir de un balance de carbono, pues éste tiene un grado de mayor precisión que cualquier otro componente ya que es el constituyente principal del combustible y de los productos gaseosos.

La medida del peso o volumen de aire empleado en la combustión, lleva consigo las mismas dificultades que la medición de los productos gaseosos.

El aire seco empleado en la combustión consta de oxígeno y gases inertes, principalmente nitrógeno, al cual se le asigna un peso molecular de 28.2; este Nitrógeno atraviesa el horno u hogar de la caldera inalterable y aparece en los productos gaseosos tal cual, por lo que es la base para calcular el peso del aire seco realmente empleado.

La humedad por mol de aire seco depende de la temperatura, presión y humedad relativa del aire. A partir del punto de rocío se determina la presión parcial del vapor de agua.

La humedad en los productos gaseosos no se ob

tiene por un análisis ordinario, pues la medida directa del agua existente es difícil realizarla, sino que se determina conociendo la composición de los humos secos y el contenido de humedad del aire empleado, la del combustible quemado y la formada por la cantidad de hidrógeno en el combustible. O sea que se puede establecer que el contenido de humedad de los productos gaseosos se determina por un balance de hidrógeno.

La cantidad de aire teóricamente necesaria para la combustión completa, depende de la composición química del combustible y de las relaciones estequiométricas comprendidas en la combustión. El peso del aire teórico requerido debe calcularse a partir de un balance de oxígeno. El oxígeno que se encuentra en el combustible está en combinación con el hidrógeno, de aquí que el hidrógeno restante será el que se considere en el balance de Oxígeno.

CAPITULO V

EXPERIMENTACION

V.1.- ANALISIS DE GASES

Se realizaron pruebas a tres diferentes presiones de vapor de la caldera: 40 psig, 60 psig y 70 psig, aunque realmente nunca se pudo muestrear a las presiones citadas, ya que son los límites superiores de presión y por lo tanto la caldera se apaga cuando se alcanza dicho límite. De estas forma, las presiones máximas a las que pudieron tomarse muestras gaseosas fueron: 38 psig, 55 psig y 66 psig

Los cuadros siguientes muestran los datos tomados en el transcurso de la experimentación, donde:

P = presión de vapor en la caldera, psig.

T = temperatura de los gases en la chimenea, °C

V = volúmen de la muestra gaseosa, cm³

KOH, PIRO, CuCl = Contracción de volúmen de la muestra gaseosa en cada una de las soluciones.

CO₂, O₂, CO = volúmen del gas respectivo absorbido cm³

CO₂, O₂, CO = % en vol de cada componente en la muestra

TABLA 5-1

Caldera calibrada a 40 psig

	P	T	V	KOH	PIRO	CuCl	CO ₂	O ₂	CO	CO ₂	O ₂	CO
ARRANQUE	17	125	48	0.4	3.8	4.8	0.4	3.4	1.0	0.83	7.08	2.08
	33	137	48	2.1	4.6	6.2	2.1	2.5	1.6	4.37	5.20	3.33
	35	140	48	4.3	7.4	8.5	4.3	3.1	1.1	8.95	6.45	2.29
	37	146	48	4.1	6.0	7.1	4.1	1.9	1.1	8.54	3.95	2.29
PLENA MARCHA	33	148	48	4.3	8.2	9.1	4.3	3.9	0.9	8.95	8.12	1.87
	36	155	48	4.6	7.9	9.1	4.6	3.3	1.2	9.58	6.87	2.50
	38	157	48	4.6	7.2	8.4	4.6	2.6	1.2	9.58	5.41	2.50
	40	159	48	4.2	8.8	10.5	4.2	4.6	1.7	8.75	9.58	3.54
	40	160	48	5.0	8.3	9.5	5.0	3.3	1.2	10.41	6.87	2.50
	38	158	48	4.7	7.9	9.1	4.7	3.2	1.2	9.79	6.66	2.50
38	160	48	4.8	7.7	9.1	4.8	2.9	1.4	10.00	6.04	2.91	

Las medidas promedio que se tomaron para hacer los cálculos correspondientes fueron:

CO₂ = 9.26%, O₂ = 6.68%, CO = 2.37% en vol.

Combustible: Arranque: 0.51 l/min

Plena marcha: 0.45 l/min

TABLA 5-2

Caldera calibrada a 60 psig

	P	T	V	KOH	PIRO	CuCl	CO ₂	O ₂	CO	CO ₂	O ₂	CO
ARRANQUE	14	126	48	0.5	3.5	4.8	0.5	3.0	1.3	1.04	6.25	2.70
	25	137	48	2.4	5.3	6.7	2.4	2.9	1.4	5.00	6.04	2.91
	42	146	48	3.8	6.5	7.8	3.8	2.7	1.3	7.91	5.62	2.70
	60	160	48	3.7	6.4	7.7	3.7	2.7	1.3	7.70	5.62	2.70
PLENA MARCHA	55	144	48	0.3	2.0	5.5	0.3	1.7	3.5	0.62	3.54	7.29
	54	140	48	0.3	2.8	4.4	0.3	2.5	1.6	0.62	5.20	3.33
	55	150	48	1.5	3.8	5.2	1.5	2.3	1.4	3.12	4.79	2.91
	50	155	48	2.9	5.3	6.7	2.9	2.4	1.4	6.04	5.00	2.91
	51	157	48	3.8	6.1	7.2	3.8	2.3	1.1	7.91	4.79	2.29
	50	158	48	4.4	6.5	7.7	4.4	2.1	1.2	9.16	4.36	2.50
	52	160	48	4.6	6.9	8.4	4.6	2.3	1.5	9.58	4.79	3.12
	52	161	48	4.6	6.8	7.8	4.6	2.2	1.0	9.58	4.58	2.08
	51	161	48	4.8	6.7	7.5	4.8	1.9	0.8	10.00	3.95	1.66
	52	162	48	5.5	7.5	8.4	5.5	2.0	0.9	11.45	4.16	1.87
	52	162	48	5.0	6.7	7.7	5.0	1.7	1.0	10.41	3.54	2.08
	52	163	48	5.2	7.2	8.0	5.2	2.0	0.8	10.83	4.16	1.66
	53	163	48	4.7	6.9	7.9	4.7	2.2	1.0	9.79	4.58	2.08
	52	163	48	5.4	7.4	7.8	5.4	2.0	0.4	11.25	4.16	0.83
	53	164	48	5.3	7.4	8.1	5.3	2.1	0.7	11.04	4.37	1.45
	55	167	48	4.0	6.1	7.1	4.0	2.1	1.0	8.33	4.37	2.08
55	168	48	4.8	7.0	7.8	4.8	3.8	6.8	10.00	7.91	1.66	

Las medidas promedio que se tomaron para

efectuar los cálculos correspondientes fueron:

CO₂ = 9.66%, O₂ = 4.77%, CO = 2.30% en vol

Combustible: Arranque: 0.66 l/min

Plena marcha: 0.61 l/min

TABLA 5.3
Caldera calibrada a 70 psig

	P	T	V	KOH	PIRO	CuCl	CO ₂	O ₂	CO	CO ₂	O ₂	CO
ARRANQUE	15	120	48	0.1	2.6	4.4	0.1	2.5	1.8	0.20	5.20	3.75
	22	126	48	1.4	3.8	5.0	1.4	2.4	1.2	2.91	4.99	2.49
	28	135	48	3.5	5.7	6.8	3.5	2.2	1.1	7.29	4.58	2.29
	39	140	48	4.0	6.1	7.2	4.0	2.1	1.1	8.33	4.37	2.29
	52	146	48	4.8	6.8	7.9	4.8	2.0	1.1	9.99	4.16	2.29
	69	152	48	4.7	6.5	7.6	4.7	1.8	1.1	9.79	3.75	2.29
	60	145	48	0.4	2.5	5.2	0.4	2.1	2.7	0.83	4.37	5.62
	62	152	48	2.5	4.9	6.5	2.5	2.4	1.6	5.20	4.99	3.33
	61	155	48	4.0	5.9	7.2	4.0	1.9	1.3	8.33	3.95	2.70
	61	156	48	5.0	7.0	8.5	5.0	2.0	1.5	10.41	4.16	3.12
PLENA MARCHA	63	160	48	4.4	6.1	7.1	4.4	1.7	1.0	9.16	3.54	2.08
	62	160	48	5.0	7.0	8.1	5.0	2.0	1.1	10.41	4.16	2.29
	63	160	48	5.4	7.2	8.5	5.4	1.8	1.3	11.24	3.75	2.70
	63	161	48	4.1	6.4	7.5	4.1	2.3	1.1	8.54	4.79	2.29
	63	162	48	5.5	7.7	8.8	5.5	2.2	1.1	11.45	4.58	2.29
	66	163	48	5.5	7.6	8.5	5.3	2.3	0.9	11.04	4.79	1.87
	66	164	48	5.8	7.7	8.9	5.8	1.9	1.2	12.08	3.95	2.49
	64	164	48	5.7	7.8	8.9	5.7	2.1	1.1	11.87	4.37	2.29
	65	164	48	5.2	7.2	8.2	5.2	2.0	1.0	10.83	4.16	2.08
	66	164	48	5.2	7.8	8.8	5.2	2.6	1.0	10.83	5.41	2.08
	66	165	48	5.2	7.3	8.5	5.2	2.1	1.2	10.83	4.37	2.49
	65	165	48	5.4	7.4	8.1	5.4	2.0	0.7	11.24	4.16	1.45
	67	166	48	5.7	8.0	9.2	5.7	2.3	1.2	11.87	4.79	2.49
	66	166	48	5.0	7.1	8.1	5.0	2.1	1.0	10.41	4.37	2.08

V.2.- CALIDAD DE VAPOR

La experimentación se llevó a cabo en el Calorímetro Isoentálpico o de Expansión. Se tomaron datos estando la caldera calibrada para operar a 40 psig, 60 psig y 70 psig, y en aparato se leyeron temperaturas a diferentes presiones de vapor e intervalos de 0.25 Kg/cm² de la misma. Los cuadros que se muestran a continuación, presentan los datos de la experimentación y los resultados obtenidos en el Diagrama de Molliere para la calidad del vapor.

- Donde: P = presión leída en el Calorímetro, Kg/cm²
 Pa = presión absoluta en Kg/cm²
 Pab = presión absoluta en lb/pulg²
 % H = Por ciento de humedad leído en el Diagrama
 X = Calidad del vapor.

TABLA 5.4

Caldera calibrada a 60 psig

TOC	TOF	P	Pa	Pab	%H	X
94	201.2	1.25	2.04	29.05	1.9	98.1
94	201.2	1.50	2.29	32.6	2.2	97.8
94	201.2	1.75	2.54	36.15	2.4	97.6
94	201.2	2.00	2.79	39.70	2.6	97.4
94	201.2	2.25	3.04	43.25	2.8	97.2
94	201.2	2.50	3.29	46.8	2.9	97.1
94	201.2	2.75	3.54	50.35	3.25	96.75
94	201.2	3.00	3.79	53.90	3.3	96.7
94	201.2	3.25	4.04	57.45	3.45	96.55
94	201.2	3.50	4.29	61.0	3.55	96.45
94	201.2	3.6	4.39	62.42	3.65	96.35

Patm = 11.3 lb/pulg² = 0.796 Kg/cm²

TABLA 5.5
Caldera calibrada a 70 psig

T°C	T°F	P	Pa	Pab	%H	X
94	201.2	1.25	2.04	29.05	1.9	98.1
94	201.2	1.50	2.29	32.6	2.2	97.8
94	201.2	1.75	2.54	36.15	2.4	97.6
94	201.2	2.00	2.79	39.70	2.6	97.4
94	201.2	2.25	3.04	43.25	2.8	97.2
94	201.2	2.50	3.29	46.8	2.9	97.1
94	201.2	2.75	3.54	50.35	3.25	96.75
94	201.2	3.00	3.79	53.90	3.3	96.7
94	201.2	3.25	4.04	57.45	3.45	96.55
94	201.2	3.50	4.29	61.0	3.55	96.45
94	201.2	3.75	4.39	62.42	3.65	96.35
94	201.2	4.00	4.79	68.1	3.80	96.2
94	201.2	4.25	5.04	71.65	3.95	96.05
94	201.2	4.50	5.29	75.2	4.00	96.00
94	201.2	4.65	5.44	77.33	4.1	95.9

$$P_{atm} = 11.3 \text{ lb/pulg}^2 = 0.796 \text{ Kg/cm}^2$$

TABLA 5.6
Caldera Calibrada a 40 psig

TOC	TOF	P	Pa	Pab	%H	X
94	201.2	0.75	1.54	21.95	1.3	98.70
94	201.2	1.0	1.79	25.5	1.65	98.35
94	201.2	1.5	2.29	32.6	2.2	97.8
94	201.2	1.75	2.54	36.15	2.4	97.6
94	201.2	2.0	2.79	39.7	2.6	97.4
94	201.2	2.25	3.04	43.25	2.8	97.2
94	201.2	2.5	3.29	46.8	2.9	97.1
94	201.2	2.7	3.49	50.35	3.25	96.75

Patm = 11.3 lb/pulg² = 0.796 Kg/cm²

14.7

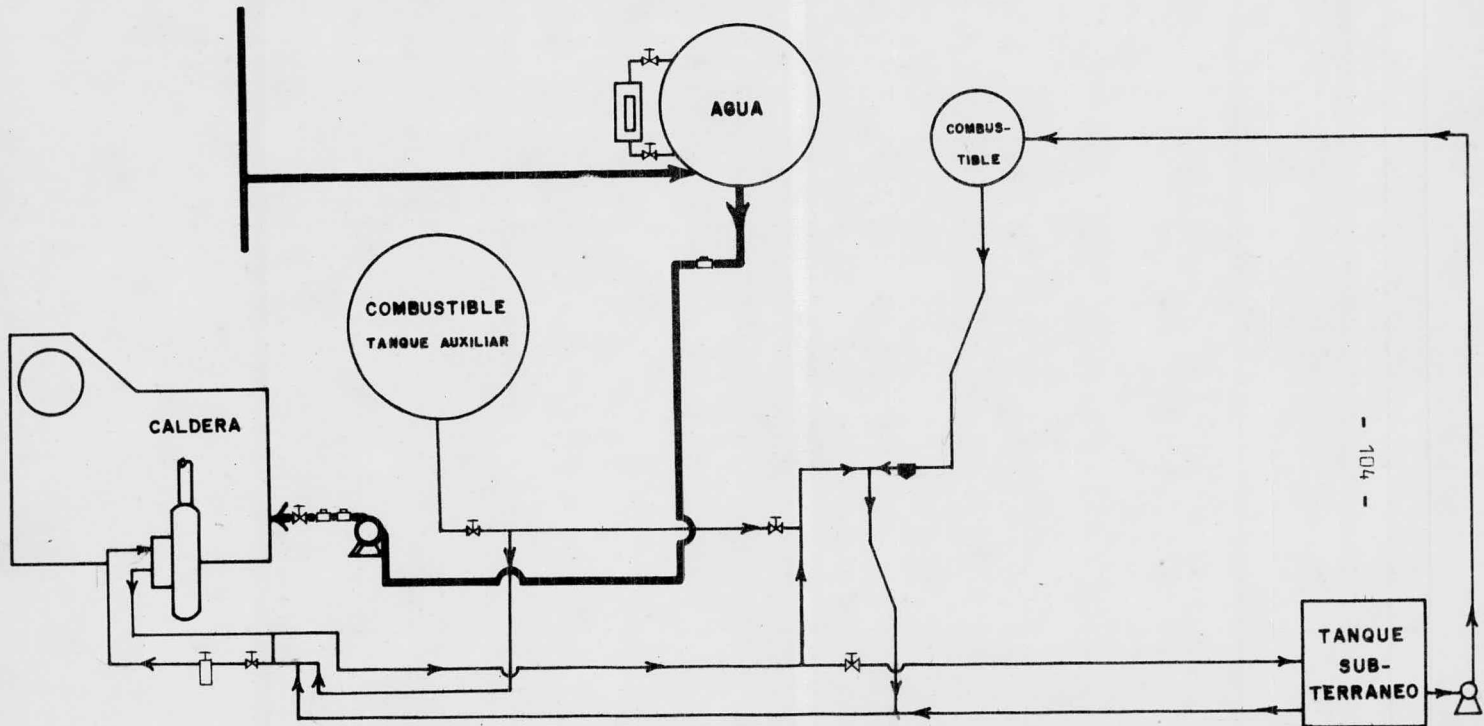


DIAGRAMA DE FLUJO.

V.3.- BALANCE DE MATERIA

1) VAPOR.- El consumo de vapor se determinó - en el equipo de producción de agua destilada y los aparatos que - consumen dicho vapor son: El Cambiador de Calor de coraza y tubos el Evaporador de Calandria y el Eyector.

La determinación se hizo midiendo la diferencia de nivel, en los tanques receptores de condensado, en un tiempo dado, cada diez minutos, cada 20 o cada 30, de manera que los datos que siguen son los promedios de consumo en los dos primeros equipos y para el tercero -eyector- se toma su dato de construcción: 196 lb/hr, 89.1 Kg/hr.

1.1.- CONSUMO DE VAPOR.

BASE: 1 Hora.

C. Calor: 1.52 l/min = 91.2 l/hr

Evaporador: 2.88 l/min = 172.8 l/hr

4.40 l/min = 262.0 l/hr

172.8
91.2
264.0

Densidad del condensado: = 1.0 g/cm³ = 1.0 Kg/l

$$d = \frac{m}{V}$$

1.1.1.- Masa total de vapor.

$$M_{VCC} + M_{V_{cal}} + M_{V_{eyec}} = M_{V_{total}}$$

$$91.2 \text{ Kg/hr} + 172.8 \text{ Kg/hr} + 89.1 \text{ Kg/hr} = 353.1 \text{ Kg/hr}$$

$$\underline{M_{V_{total}} = 353.1 \text{ Kg/hr}}$$

2) AIRE PARA LA COMBUSTION.- Es importante conocer el contenido de humedad del aire que se emplea en la combustión, pues en el balance de materia se debe incluir el agua por

este concepto. SE le determinó temperatura de bulbo húmedo y bulbo seco con el Psicrómetro que se tiene en el Laboratorio.

Como fueron varios días de experimentación, - los datos obtenidos se promediaron y se tiene el cálculo en base a lo siguiente:

2.1.- HUMEDAD DEL AIRE.

$$T_b = 18 \text{ } ^\circ\text{C} = 64.4 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$T_w = 15 \text{ } ^\circ\text{C} = 59.0 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Según Carta de Humedad construída para la Cd.

de México:

$$H_{\text{abs}} = 0.0115 \text{ Kg H}_2\text{O/Kg A.S.}$$

$$H_T = 73 \%$$

3) COMBUSTIBLE.- El consumo de combustible se determinó varias veces midiendo la diferencia de nivel en el tanque auxiliar, obteniendo una medida promedio de 0.63 l/min, cuando la caldera se calibró a una presión de vapor de 70 psig.

3.1.- CONSUMO DE COMBUSTIBLE.

$$\text{Gasto de combustible: } 0.63 \text{ l/min} = \underline{37.8 \text{ l/hr}} \quad * = 31.60 \frac{\text{kg}}{\text{hr}}$$

3.2.- ESPECIFICACIONES DEL COMBUSTIBLE.

31.6

Fabricado por PEMEX con nombre DIESEL 35/39, Especificación No 404.

$$r = 0.836 = 37 \text{ OAPI}$$

$$PC = 10860 \text{ cal/g} = 10860 \text{ KCal/Kg} = 19565 \text{ BTU/lb}$$

$$\mu = 40 \text{ seg Saybolt Univ} = 4.17 \text{ ctk}$$

3-2-1.- De gráficas: Se usaron las gráficas de la Ref. Bib. 3 para determinar el Punto de ebullición promedio -fig 106-, el Poder Calorífico -fig 74 - y el Factor de Caracterización -fig 107- de nuestro combustible

Punto de ebullición promedio = 615 °F = 324 °C

Poder Calorífico = 19700 BTU/lb

Si se compara este dato con el proporcionado en las especificaciones de PEMEX se puede ver que son muy semejantes y no representa más de 1% de diferencia entre dicho dato y el obtenido en Bibliografía.

Factor de Caracterización: $K = 12.2$

3-3.- COMPOSICION DEL COMBUSTIBLE.

Datos proporcionados por la Gerencia de Ventas de Petróleos Mexicanos.

C: 85 %	N: 0.2 %
H: 12 %	O: 1.0 %
S: 0.8 %	H ₂ O: 1.0 %

4) GASES DE CHIMENEA.- Se analizaron los gases de combustión tomando muestras a la salida de la chimenea y los datos promedio cuando se calibra la caldera para operar a 70 psig, son los que a continuación se anotan.

CO ₂ : 10.45 %
O ₂ : 4.40 %
CO : 2.45 %

La temperatura de los gases anotada en la tabla 5-3 está tomada a la altura del muestreador de gases, por lo que se considera que en ese punto los gases van más fríos que - cuando pasaron los tubos de la caldera, de tal forma que se veri-

ficaron estas temperaturas introduciendo un Pirómetro de carátula justo a la salida de los tubos, obteniendose una temperatura promedio de 350 °C

$$T_{\text{gases}} = 350 \text{ } ^\circ\text{C}$$

5) BALANCE DE MATERIA.- Estos balances se realizaron por el método de Clarke tomando como base las tablas y gráficas de la Bibliografía 2. Se toma como base 1 lb de combustible porque todos los datos de las tablas están en sistema inglés, así como también se toma 1 PCN -pie cúbico normal- de gas medido a 60 °F y 30 pulg de Hg.

$$1 \text{ lb mol} = 378.7 \text{ PCN}$$

5.1.- Productos de combustión primarios de 1 lb de combustible con Oxígeno. Tabla H-4.

$$\begin{array}{l} \text{CO}_2 \text{ del C: } 0.85 \text{ lbmol} * \frac{1 \text{ lbmol}}{12 \text{ kg}} * 31.38 \text{ PCN/lb comb} = 26.67 \text{ PCN/lb} \\ \text{H}_2\text{O del H: } 0.12 \times 188.70 \text{ " } = 22.64 \text{ " } \\ \text{SO}_2 \text{ del S: } 0.008 \times 11.69 \text{ " } = 0.0935 \text{ " } \\ \text{H}_2\text{O del comb: } 0.01 \times 21.02 \text{ (tabla H-10)} = 0.2102 \text{ " } \end{array}$$

$$\text{H}_2\text{O total: } 22.64 + 0.2102 = 22.85$$

$$\begin{array}{l} \text{Productos de combustión: } 26.67 + 22.85 + 0.0935 = \\ = 49.6135 \text{ PCN/lb combustible} \end{array}$$

5.2.- Nitrógeno en Productos de combustión, tabla H-4.

$$\begin{array}{l} \text{N}_2 \text{ del C: } 0.85 \times 118.5 \text{ PCN/lb comb} = 100.725 \text{ PCN/lb} \\ \text{N}_2 \text{ del H: } 0.12 \times 353.6 \text{ " } = 42.432 \text{ " } \\ \text{N}_2 \text{ del N: } 0.002 \times 13.5 \text{ " } = 0.355 \text{ " } \\ \hline 143.539 \text{ " } \\ \text{menos lo del O}_2 \\ \text{del combustible: } 0.01 \times -44.5 \text{ " } = -0.445 \text{ " } \\ \hline 143.094 \text{ " } \end{array}$$

$$\text{Nitrógeno en productos de combustión} = 143.094 \text{ PCN/lb}$$

5.3.- Productos totales de Combustión.

$$\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{SO}_2 + \text{N}_2 = \text{Gases totales}$$

$$26.67 + 22.85 + 0.0935 + 143.094 = 192.7075 \text{ PCN/lb comb}$$

$$\text{Gases totales} = 192.7075 \text{ PCN/lb} \quad \leftarrow$$

5.3.1.- Corrección por el CO formado.

$$\text{CO}_2 + \text{SO}_2 + \text{CO} = 26.67 + 0.0935 + 0 = 26.7635 \text{ PCN/lb}$$

Del análisis Orsat: CO_2 : 10.45%; CO: 2.45%

Si el CO_2 representa el 10.45 %

y el CO representa el 2.45 %

el total será: 12.90 %

El CO formado será: $26.7635:12.90::x:2.45 \quad x=5.08$

$$\text{CO} = 5.08 \text{ PCN/lb}$$

5.3.2.- Gases excentos de humedad.

Productos totales de combustión = 192.7075 PCN/lb ↙

menos el agua total -22.85 "

169.8575 "

Gases Secos = 169.8575 PCN/lb combustible

→ 6) AIRE EN EXCESO.- Esta cantidad se mide a partir del dato del análisis Orsat, ya que éste registra el aire -oxígeno- que no se consumido en la combustión y que por lo tanto representa el exceso que se ha alimentado.

Sea: y = PCN de aire en exceso/lb comb

Sea: $0.21y$ = PCN de O_2 en exceso/lb comb

Del análisis Orsat: O_2 : 4.4%

$$4.4 : 0.21y :: 100 : (169.8575 + y)$$

$$y = 45.02 \text{ PCN aire en exceso/lb comb}$$

6.1.- Cantidades de cada componente.

$$O_2: 0.21 \times 45.02 = 9.45 \text{ PCN/lb}$$

$$N_2: 0.79 \times 45.02 = \frac{35.56}{45.01} \text{ "}$$

6.2.- Por ciento en exceso.

$$\% \text{ exceso} = \frac{N_2 \text{ en exceso de aire}}{N_2 \text{ en prod de comb}} \times 100$$

$$\frac{35.56}{143.094} \times 100 = 24.85 \% \text{ de exceso de aire}$$

6.3.- Aire empleado en la combustión. En base al N_2 :

$$\begin{array}{r} N_2 \text{ en exceso} \quad \quad \quad 35.56 \\ N_2 \text{ en prod. comb.} = \frac{143.094}{178.654} \text{ PCN/lb} \end{array}$$

6.3.1.- Aire seco empleado.

$$\frac{178.654}{0.79} = 226.14 \text{ PCN de aire/lb comb}$$

6.3.2.- Masa de aire.

$$\frac{226.14 \text{ PCN/lb}}{378.70 \text{ PCN/lbmol}} = 0.5971 \text{ lb mol aire/lb comb}$$

$$m = 0.5971 \text{ lb mol/lb} \times 29 \text{ lb/lb mol} = 17.31$$

$$m_{\text{aire}} = 17.31 \text{ lb aire seco/lb comb}$$

6.4.- Humedad en el aire usado en la combustión.

$$H_{\text{abs}} = 0.0115 \text{ lb H}_2\text{O/lb A.S.}$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = 17.31 \text{ lb A.S./lb comb} \times 0.0115 \text{ lb H}_2\text{O/lb A.S.}$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = 0.199 \text{ lb/lb comb}$$

6.4.1.- Volúmen de agua.

$$0.199 \text{ lb H}_2\text{O/lb comb} \times \text{(tabla H-10)} \times 21.02 \text{ PCN/lb H}_2\text{O} =$$

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = 4.18 \text{ PCN/lb comb}$$

6.5.- Comprobación. Si comparamos la cantidad de aire - empleado en exceso + la cantidad de aire de los productos de combustión con la cantidad de aire que teóricamente se emplea, se tiene:

Gases totales: Productos totales de combustión
+ aire en exceso

$$\text{gases totales} \quad \text{aire en exceso} \\ 192.7075 + 45.02 = 237.7275 \text{ pcn/lb comb}$$

6.5.1.- Aire Teórico requerido. De la tabla H-4

$$\begin{array}{rcl} \text{C: } 0.85 & \times & 150 \text{ PCN/lb} = 127.50 \text{ PCN/lb comb} \\ \text{H: } 0.12 & \times & 447.8 \text{ " } = 53.73 \text{ " } \\ \text{S: } 0.008 & \times & 56.2 \text{ " } = 0.45 \text{ " } \\ \text{N: } 0.002 & \times & 0.0 \text{ " } = 0.0 \text{ " } \\ \text{O: } 0.01 & \times & -56.3 \text{ " } = -0.56 \text{ " } \\ & & \hline & & 181.12 \text{ " } \end{array}$$

$$\text{Aire Teórico} = 181.12 \text{ PCN/lb comb}$$

6.5.2.- Aire total.

Aire teórico + exceso de aire = Aire total

$$181.12 + 181.2 (0.2485) = 181.12 + 45.00 =$$

$$\text{Aire total} = 226.12 \text{ PCN/lb}$$

Comparando 226.12 con 237.7275 de los gases totales, se tiene una diferencia que representa un 5.1% en los calculos, pero si comparamos la cantidad de aire total con la cantidad de aire seco unicamente, obtenemos la misma cantidad.

$$\text{Aire total} = 226.12 \text{ PCN/lb}$$

$$\text{Aire seco} = 226.14 \text{ PCN/lb}$$

7) Balance de Humedad.- La cantidad de agua que entra con el combustible, con el aire y la que se forma en la combustión, tendrá que ser igual a la que sale del proceso.

7.1.- Agua en el combustible.

$$\text{H}_2\text{O comb: } 0.01 \times 21.02 \text{ (tabla H-10)} = 0.2102$$

$$\text{H}_2\text{O formada: } 0.12 \times 188.70 = 22.64$$

$$\text{H}_2\text{O del aire: } 0.0115 \text{ lb.H}_2\text{O/lb A.S.} = 4.18$$

Agua a la entrada = Agua a la salida

$$0.2102 + 22.64 + 4.18 = 27.036 \text{ PCN/lb comb}$$

V.4.- BALANCE DE ENERGIA.

1) El poder calorífico del combustible, tendrá que ser aprovechado por el agua para su evaporación, por lo tanto la cantidad de calor que proporciona el combustible tendrá que ser la misma que gana el agua al evaporarse más el calor que los gases no alcanzaron a cederle.

Basandonos en lo anterior y con ayuda de las gráficas de Calor Sensible E-10 de la Ref.Bib. 2, tenemos:

1.1.- Calor sensible de los gases a 662 °F (350 °C)
Empleando la figura E-10:

	$\frac{BTU}{PCN}$	$\frac{PCN}{lb}$	$\frac{BTU}{lb}$
CO ₂	16.3	26.67	434.72
CO	11.3	5.08	57.40
N ₂	11.3	143.54	1622.00
O ₂	11.8	9.45	111.51
H ₂ O formada	11.2	22.64	253.56
H ₂ O aire y comb	13.2	4.39	57.96
			<u>2537.15</u>

Calor latente del H₂O en los gases:

$$\frac{BTU}{PCN} \times \frac{PCN}{lb} = (22.64 + 4.39) 50.4 = 1362.61 \text{ BTU/lb}$$

Calor de la mala combustión:

$$\frac{BTU}{lb} \times \frac{lb}{PCN} = CO: 5.08 \times 321 \text{ (tabla H-10)} = 1630.68$$

1.2.- Calor cedido por los gases.

Calor de combustión - (calor sensible + calor latente + calor por mala combustión) = Calor aprovechado.

Calor de combustión:	19565.00	BTU/lb
Calor sensible:	- 2537.15	"
Calor latente:	- 1362.61	"
Calor por mala comb:	- 1630.68	"
	<u>14034.56</u>	"

Calor cedido por 1 lb de combustible

$$Q = 14034.56 \text{ BTU/lb}$$

1.3.- Eficiencia Térmica. Porcentaje de calor aprovechado convenientemente.

$$\eta = \frac{\text{calor aprovechado}}{\text{calor disponible}} \times 100$$

$$Q_{\text{aprovechado}} = Q_{\text{cede 1 lb comb}} = 14034.56$$

$$Q_{\text{disponible}} = \text{Poder Calorífico} = 19565.00$$

$$\eta = \frac{14034.56}{19565} \times 100 = 71.73 \%$$

$$\eta = 71.73 \%$$

2) Eficiencia de Evaporación. Tendrá que ser la cantidad de calor que se necesita para evaporar nuestro consumo de vapor entre la cantidad de calor que cede el combustible alimentado.

2.1.- Consumo de vapor. Detallado en el punto 1.1 del balance de materia.

$$M_{v\text{total}} = 353.1 \text{ kg/hr} = 778.45 \text{ lb/hr}$$

2.1.1.- Entalpia del vapor saturado a la presión de la caldera:

$$\lambda = 1183.3 \text{ BTU/lb}$$

2.2.- Calor necesario para producir 778.45 lb de vapor por hora:

$$Q = m\lambda = 778.45 \text{ lb/hr} \times 1183.3 \text{ BTU/lb} =$$

$$Q = 921,139.88 \text{ BTU/hr}$$


3) Combustible necesario para generar el calor anterior:

$$Q_{\text{comb}} = 19565 \text{ BTU/lb}$$

$$Q_{\text{necesario}} = 921,139.88 \text{ BTU/hr}$$

$$M_{\text{comb}} = \frac{921,139.88}{19565} = 47.08$$

$$M_{\text{comb}} = 47.08 \text{ lb/hr}$$

3.1.- Combustible alimentado. 

$$\text{Gasto de combustible} = 37.8 \text{ l/hr}$$

$$\text{Masa de combustible} = 69.85 \text{ lb/hr}$$

3.1.1.- Calor que proporciona dicho combustible. Teórico.

$$69.85 \text{ lb/hr} \times 19565 \text{ BTU/lb} = 1,366.615.25$$

$$Q_T = 1,366,615.25 \text{ BTU/hr}$$

3.2.- Eficiencia de Evaporación:

$$\frac{921,139.88}{1,366,615.25} \times 100 = 67.41 \%$$

$$\eta_{\text{evap}} = 67.41 \%$$

$$37.8 \frac{\text{l}}{\text{hr}} \times 4 = 69.85$$

$$4 = \frac{60}{15}$$

CAPITULO VI

DATOS RESULTADOS Y CONCLUSIONES

VI.1.- ANALISIS DE DATOS Y RESULTADOS.

El volúmen de muestra gaseosa que se formó en todos los casos fué de 48 cm³.

Podemos notar que al arrancar la caldera, a cualquier presión que se encuentre calibrada, siempre hay un incremento en la temperatura de los gases; un aumento en el volúmen contraído, ó disminución en el volúmen de muestra; pero cuando la caldera se opera a plena marcha se lleva a una estabilización de absorción de los gases y los datos que se presentan son de carácter uniforme. Ya no presentan demasiada variación como al principio de la operación y entonces, para fines de cálculo, pueden tomarse las medidas promedio para cada gas.

El análisis Orsat con el analizador de gases Hays que se tiene en el laboratorio cuenta con 3 pipetas las cuales se llenaron con soluciones de KOH, Pirogalato de Potasio y CuCl.

Cada lectura en la contracción del volúmen inicial nos proporciona el volúmen de gas absorbido en las soluciones y el porcentaje de cada gas existente en la muestra se determina en la forma siguiente:

$$\% \text{ del componente} = \frac{\text{Disminución de vol.}}{\text{Vol. de la muestra}} \times 100$$

El % CO₂ + % O₂ + % CO y la diferencia a -- 100% será el % de N₂ presente en la muestra.

El % de CO₂ no da el grado de transformación que ha tenido el carbono del combustible con el O₂ del aire para la combustión.

El % O₂ nos informa del oxígeno que no se ha empleado en la combustión, o sea del aire en exceso que se usó en el proceso.

El % CO nos dice que buena o mala está resul

tando la combustión en la caldera.

Con respecto al combustible puede verse que siempre en el arranque de la caldera habrá un mayor consumo, situación normal ya que el horno, los tubos y el agua en la caldera se encuentran fríos y por lo tanto tendrá que haber un consumo de combustible diferente, y mayor a cuando la caldera ya adquirió una cierta temperatura.

Con respecto a la calidad de vapor se observa que el vapor producido en la caldera es de más baja calidad que el que recomienda la Bibliografía, sin embargo se puede decir que es de orden aceptable, considerando que tiene que viajar a través de 20 metros de tubería, hasta llegar al calorímetro y en ese trayecto, por lo tanto perder temperatura y condensar un poco, por lo que el contenido de humedad puede, también, incrementarse.

La mejor calidad del vapor se encuentra cuando la caldera trabaja a 40 psig de presión de vapor.

VI.2.- CONCLUSIONES.

Los análisis de gases realizados durante la experimentación en la caldera del Laboratorio de Ingeniería Química; los cálculos realizados en base a los Balances de Materia por el método de Dulong; los balances de Energía y la calidad del vapor determinada en este trabajo, demostraron que:

a) La eficiencia de la caldera es de orden bajo, ya que se encuentra un poco arriba del 70%. Las causas que se atribuyen a esta baja eficiencia son:

b) El hollín que se ha acumulado en el interior de los tubos y el sarro depositado encima de los mismos, hacen una deficiente transmisión de calor.

c) La operación intermitente a que está sometida la caldera durante un semestre de clases y que puede ser causa de los problemas anteriores.

i Por lo anteriormente expuesto se llega a las siguientes conclusiones:

1) Debe existir un mejor aislamiento en la caldera para evitar lo más posible las pérdidas de calor por radiación.

2) Debe someterse a un mantenimiento preventivo limpiando los tubos y extrayendo las sales depositadas en la caldera inmediatamente después de la terminación del Semestre.

3) Es conveniente instalar un control automático, de mayor eficiencia del que se encuentra instalado, para evitar que manos inexpertas puedan en un momento dado dañar la caldera o causar un accidente.

4) Reponer las piezas deterioradas tales como: la cubierta de cristal del sistema "Visaflame"; las válvulas de purga de la columna de nivel; y probablemente cambiar uno o más tubos que puedan encontrarse en mal estado.

5) Debe instalarse, con carácter urgente, un medidor de flujo para el combustible ya que el que se encuentra instalado no es el adecuado, y otro para el agua que se alimenta.

El equipo carece de estos instrumentos y es muy conveniente conocer estos datos con exactitud.

6) Es recomendable también, reponer los instrumentos del calorímetro Isoentalpico y los del calorímetro de barril, tales como termómetros y manómetros, pués han permanecido demasiado tiempo "parados", y por lo tanto sus lecturas son de carácter dudoso.

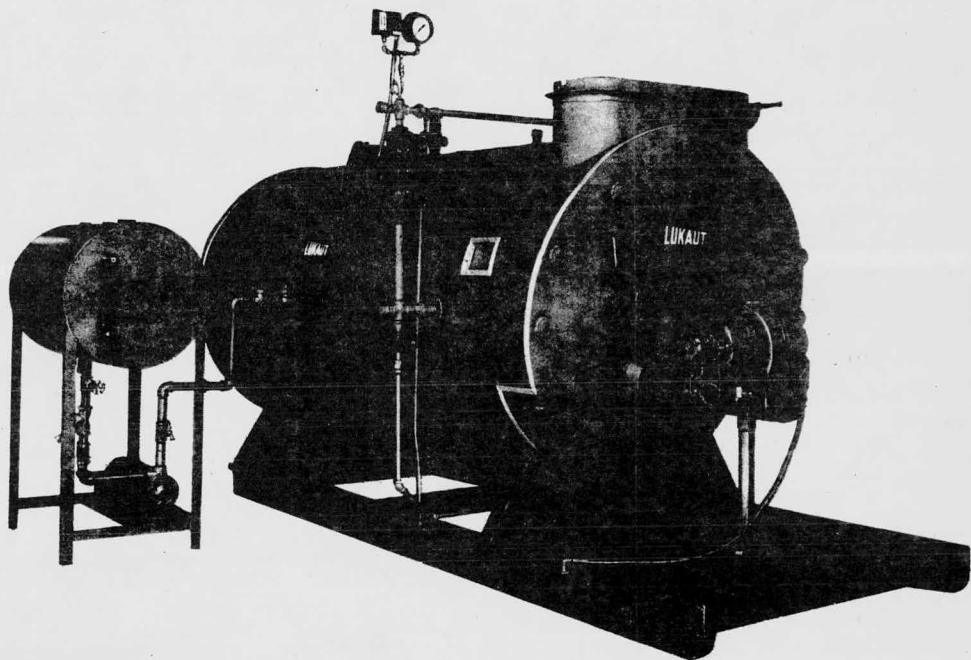
7) Deseo sinceramente que el presente trabajo cumpla los objetivos que se formularon al principio del mismo, y que en un momento dado sea de utilidad, tanto para los alumnos, - como los profesores, actuales y futuros, del Laboratorio de Ingeniería Química de ésta Facultad.

CAPITULO VII

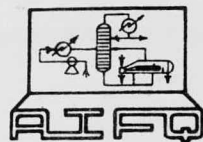
DISEÑO DE LA PRACTICA

LABORATORIO DE INGENIERIA QUIMICA

Caldera y Vapor



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA



FACULTAD DE QUIMICA
DIVISION DE ESTUDIOS PROFESIONALES
Area de Ingenieria

CALDERA Y VAPOR

OBJETIVOS

El alumno hará funcionar la caldera del laboratorio siguiendo los pasos adecuados a condiciones establecidas.

El alumno determinará la composición de los gases de la chimenea usando un Analizador de Gases Orsat Hays, durante la operación de la caldera.

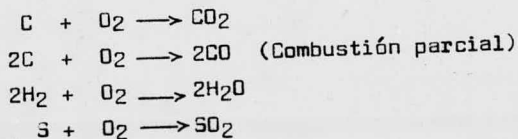
El alumno determinará la calidad del vapor producido usando un Calorímetro Isoentálpico y un Calorímetro de Barril.

El alumno identificará la línea principal de vapor y sus accesorios, así como la función que desempeñan.

COMBUSTION

Industrialmente la generación de calor se produce por la combustión de un combustible o por la transformación de energía eléctrica, seleccionándose el método a emplear de acuerdo al tipo de proceso y a las condiciones específicas a seguir.

La combustión es la combinación química de los elementos del combustible con el Oxígeno y tiene como ecuaciones básicas esquemáticas las siguientes:



Los objetivos de la combustión pueden resumirse en: Producción ordenada, correcta y rápida del calor que va a transferirse.

Para asegurar una combustión completa, deberán reunirse las siguientes condiciones:

- 1.) Mezcla apropiada de aire y combustible en todos los puntos dentro de la zona de combustión.
 - 2.) Suficiente suministro de aire para proporcionar el oxígeno requerido.
 - 3.) Temperatura adecuada para mantener la combustión.
 - 4.) Tiempo suficiente para lograr la reacción.
- Mediante un exceso de aire es posible asegurar la combustión completa. Esta cantidad se conoce como "aire en exceso" y puede calcularse mediante la ecuación siguiente:

$$W_a = 11.5 W_C + 34.5 \left(W_H - \frac{W_O}{8} \right) + 4.32 W_S \quad (1)$$

En la cuál W_C , W_H , W_O y W_S representan las fracciones en peso del Carbón, Hidrógeno, Oxígeno y Azufre en el combustible y W_a es el peso requerido para quemar una unidad de combustible.

Cuando el análisis químico del combustible es conocido, las ecuaciones específicas de esa combustión pueden conocerse y aplicarse para determinar la clase y cantidad de producto que debe resultar, así como la cantidad de calor que debe obtenerse. El análisis de los gases de salida permite conocer el grado de desarrollo de la reacción y éste permite hacer los ajustes necesarios y pertinentes.

Los principales combustibles usados en la industria son subproductos del petróleo, entre los cuales tenemos la gasolina, kerosina, diesel, combustóleo, etc.

Una clasificación conveniente de los combustibles puede basarse en su estado físico, y así, se tienen combustibles sólidos, líquidos y gaseosos.

Entre los combustibles gaseosos solamente el gas natural tiene un mercado substancial dentro de la generación

de calor. Los otros combustibles gaseosos, debido a su alto costo solo se emplean en las industrias que lo producen como subproductos.

CALDERAS

La función de una caldera es convertir la -- energía química de un combustible en energía calorífica por medio de una oxidación química y transferirla a un líquido para vaporizarlo, disponiendo de ésta manera de un medio adecuado para su uso en sistemas de calentamiento y en conversión a energía mecánica.

Una clasificación de las calderas que resulta bastante apropiada es la siguiente:

CLASIFICACION

Considerando:

A) EL PROPOSITO

- 1) Calentamiento
- 2) Proceso
- 3) Generación de potencia

B) LA CLASE DE PLANTA

- 1) Estacionaria o terrestre { a) Residencial
b) Industrial
c) Estación Central
d) Portátiles o semiportátiles.
- 2) Móvil { a) Marina
b) Locomotriz

C) METODO DE ARRANQUE

- 1) Manual
- 2) Tiro Mecánico
- 3) En suspensión

D) SUBSTANCIAS EN PROCESO

- 1) Agua

2) Mercurio

3) Difenilo y oxido de difenilo

E) CARACTERISTICAS DEL ARREGLO Y ESTRUCTURA

- | | | |
|------------------|---|---|
| 1) Tubos de Humo | { | a) Calentamiento externo y calentamiento interno |
| | | b) A través de los tubos y con retorno a los tubos |
| | | c) Verticales y Horizontales |
| 2) Tubos de agua | { | a) Tubos rectos, tubos curvos |
| | | b) Tubos horizontales
tubos verticales
tubos inclinados |
| | | c) De 1, 2 y 3 pasos |
| | | d) Tambor longitudinal y tambor cruzado |
| | | e) De 1, 2, 3 y 4 domos |
| | | f) Cabezal seccionado y cabezal de caja |
| | | g) Con mamparas transversales y mamparas paralelas |
| | | h) Tambor para lodos, vertical u horizontal |

Para propósitos de discusión en general, la clasificación más adecuada es: Calderas de tubos de humo y Calderas de tubos de agua.

Las calderas de tubos de humo consisten de recipientes cilíndricos y tubos que pasan a través de ellos y se "rolan" a sus cabezales. Los gases de combustión van por dentro de los tubos y por fuera el agua que deberá cubrirles completamente, en el caso de tubos horizontales y disponiéndose de un espacio que permite la separación del vapor y las gotas de agua, mientras que en el caso de tubos verticales deberá tenerse una altura de agua suficiente para reducir la temperatura de los gases de combustión y evitar sobrecalentamientos.

La propia estructura de las calderas de tubos de humo limita sus producciones de vapor a 20,000 lb/hr máximas - presiones no mayores de 250 psig. Esto restringe su uso a plantas relativamente pequeñas.

La caldera de tubos de humo horizontales, es probablemente la más usada dentro de este tipo para capacidades -

cercanas a los 250 caballos de caldera y presiones de 175 psig.

En las calderas de tubos de agua, el agua circula a través de los tubos; los tubos en la mayoría de estos equipos están localizados fuera del cuerpo de la caldera. Las ventajas principales de estos equipos es que se pueden obtener altas - capacidades incrementando el número de tubos sin aumentar el diámetro del cuerpo de la caldera y por otra parte dicho cuerpo no - está expuesto al calor radiante de la combustión.

El mayor desarrollo en equipos de generación de vapor lo han alcanzado las calderas de tubos de agua; en la actualidad este equipo se construye para pequeñas y grandes capacidades, habiendo unidades que logran producir más de un millón de libras de vapor por hora. Este equipo ha logrado incrementos continuos en la presión de vapor y son muchos los equipos que operan actualmente a presiones mayores de 1,400 psig. Los recalentadores acoplados a estas calderas logran sobrecalentamientos de vapor a temperaturas del orden de 950° F.

Al igual que las calderas de tubos de humo, - las de tubos de agua basan su capacidad en el valor neto de su superficie de calentamiento. Es muy común operar las calderas con - incrementos en su capacidad hasta de 100%.

Los materiales más frecuentes para la construcción de una caldera, son: Hierro forjado; Hierro fundido; Acero fundido; Hierro maleable, Cobre, Bronce, Latón, etc.

La selección de una caldera está afectada por los siguientes factores:

- a) Tipo y tamaño.
- b) Características de la carga.
- c) Espacio disponible para la instalación y operación.
- d) Facilidad de paro para efectuar su limpieza.
- e) Alimentación de agua.
- f) Presión del tiro.
- g) Tipo de fogón.
- h) Eficiencia de la caldera.

- i) Tipos disponibles de combustibles.
- j) Costo inicial y de mantenimiento.

VAPOR

El vapor de agua es el fluido de más extensa aplicación como transportador de energía en la industria, pues se trata de una substancia no tóxica, cuyo riesgo es su alta presión de vapor. El vapor supera a todos los otros medios comunes de -- transporte de calor en disponibilidad, estabilidad, bajo costo, - alta capacidad de transporte de calor y en seguridad.

Los principales usos del vapor en la indus -- tria, son: a) como medio de transporte de calor; b) como medio de transmisión de calor; c) como agente físico o químico en operacio -- nes industriales.

Un mismo vapor puede emplearse sucesivamente para dos o más de estas operaciones; así puede producirse a pre -- siones muy elevadas y emplearse primero para accionar turbinas y una vez alcanzada, por expansión, la temperatura adecuada, se pue -- de emplear para calentamiento o para usos químicos.

El empleo que se le dará al vapor decidirá so -- bre la presión a la que ha de producirse, aquella a la que se ha de emplear y si ha de estar saturado o recalentado.

Las principales ventajas que determinan el uso del vapor de agua son: ceder el calor a temperatura constante, te -- ner un elevado contenido calorífico, abundancia de su materia pri -- ma, su limpieza y el empleo sucesivo del calor del vapor.

Las líneas de distribución de vapor deben in -- cluir las válvulas necesarias para permitir o impedir el paso del vapor hacia las máquinas y aparatos que lo utilizan. Debe tener - los medios necesarios para desalojar los condensados, pues de no ser eliminados, presentarían riesgos de ruptura y corrosión en - las líneas. Un aparato muy común en la eliminación de condensados es la "trampa de vapor", que permite eliminar el líquido sin de--

jar escapar el vapor. Se presentan en diversos tipos: Trampa de cubeta simple, trampa de cubeta invertida, trampa termodinámica, trampa termostática, etc.

Debe contarse también con una envoltura aislante que reduzca al mínimo la formación de condensado. También han de preverse en la tubería los medios que permitan absorber la dilatación lineal del material de construcción, tales como las juntas o curvas de expansión, soldadas y del mismo diámetro de la tubería.

CALIDAD DEL VAPOR

La calidad de un vapor se define como la diferencia entre 100 kilogramos de vapor húmedo y el porcentaje de agua presente.

$$x = \frac{m_v}{m_T} = \frac{m_v}{m_A + m_v} \quad (2)$$

$$y = \frac{m_L}{m_T} \quad (3)$$

$$x + y = 1$$

Donde: m_v = masa de vapor.

m_T = masa total

m_A = masa de agua

m_L = masa de líquido

x = calidad del vapor

ANÁLISIS DE GASES

Los métodos de Análisis de Gases se pueden clasificar de la siguiente manera:

1) Absorción Directa. Se lleva a cabo por medio de un reactivo solvente específico; la disminución en el volumen indicará la cantidad de gas presente en una muestra.

2) Determinación indirecta por Explosión o Combustión. Esta se realiza a altas temperaturas con exceso de aire u oxígeno. Los componentes de la muestra se determinan por la disminución de volumen después de la explosión. La cantidad de CO₂ formado se determina por absorción y la cantidad de oxígeno consumido se determina por absorción del oxígeno residual. El Oxígeno se puede determinar también por explosión con exceso de Hidrógeno.

3) Combustión Fraccional. Aquí se usa un agente oxidante con o sin catalizador a una temperatura siempre controlada.

4) Microanálisis. Se emplea cuando se desea determinar la presencia de gases con un 0.2% o menos en una muestra gaseosa.

Las ecuaciones de la tabla siguiente representan las reacciones de las combustiones que tienen lugar con más frecuencia en el análisis de gases y las columnas de la derecha indican las relaciones de volúmenes en cada caso.

RELACIONES EN LA COMBUSTION DE ALGUNOS GASES

		vol gas	O ₂ con sumido	contrac ción	produ cido
Hidrógeno	$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$	1	1/2	2/3	0
CO	$2CO + O_2 \rightarrow 2CO_2$	1	1/2	2	1
Metano	$CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$	1	2	1/2	1
Acetileno	$2C_2H_2 + 5O_2 \rightarrow 4CO_2 + 2H_2O$	1	2 1/2	1 1/2	2
Etileno	$C_2H_4 + 3O_2 \rightarrow 2CO_2 + 2H_2O$	1	3	2	2
Etano	$2C_2H_6 + 7O_2 \rightarrow 4CO_2 + 6H_2O$	1	3 1/2	2 1/2	2
Propeno	$2C_3H_6 + 9O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O$	1	4 1/2	2 1/2	3
Propano	$C_3H_8 + 5O_2 \rightarrow 3CO_2 + 4H_2O$	1	5	1/3	3
Butano	$2C_4H_{10} + 13O_2 \rightarrow 8CO_2 + 10H_2O$	1	6 1/2	3 1/2	4

DESCRIPCION DE LOS APARATOS

1) CALDERA

- 2) Analizador de gases ORSAT
- 3) CALORIMETROS

1) CALDERA del Laboratorio de Ingeniería Química.

Es una caldera de tubos de humo, marca SUPERIOR, construida en 1954 por la Superior Combustion Industries Inc New York. Tiene una superficie calórica de 262.1 pies cuadrados, lo que equivale aproximadamente a 26.21 C.C.C. (caballos de caldera calificados). Sin embargo, en virtud de estar dotada de tiro inducido y de tiro forzado, su potencia es de 50 C.C., por lo que su relación de capacidad es:

$$RC = \frac{50}{26.21} \times 100 = 188\%$$

Está diseñado para operar a 2270 m de altura. Tiene 53 fluxes de 3 pulgadas de diámetro y de 7 pies 3 1/4 pulg de longitud, aproximadamente 2.20 m.

Características eléctricas: 220 volts, 3 fases.

Tiene 3 motores eléctricos. El motor 1 mueve el ventilador de tiro forzado y al mismo tiempo la bomba de inyección de combustible a los atomizadores, 1/3 HP y 1425 rpm.

El motor 2 mueve el ventilador de tiro inducido cuya potencia es de 1.5 HP y 1460 rpm.

El motor 3 mueve la bomba de alimentación de agua a la caldera. Potencia 3 HP y 2490 rpm.

Presión máxima de trabajo: 8.5 Kg/cm² (125 - psig).

Ajuste de la válvula de seguridad: 80 psig.

Quemador: marca Silent Korth, modelo T-4, -- Cuenta con dos toberas atomizadoras que reciben el combustible de una bomba de engranes acoplada a la misma flecha del ventilador de tiro forzado. La capacidad de cada tobera es de 15.14 l/hr (4 gph).

Emplea combustible Diesel que alimenta desde un tanque auxiliar o de día con capacidad de 500 litros, recirculandose continuamente y pasando solo una porción a los atomizadores a través de una válvula selenoide y una válvula de aguja instalada para un mayor -- ajuste y regulación del flujo de combustible. La bomba de engranes es marca Webster Electric, de dos pasos, modelo 4 T86 125.

Los controles y dispositivos de seguridad con que cuenta nuestra caldera son los siguientes: El control de nivel y el control de presión, ambos automáticos.

El control de nivel se logra con un flotador colocado en una columna conectada al cuerpo de la caldera, que en vía la señal a un interruptor de mercurio que arranca o para la bomba de inyección de agua manteniendo así un nivel aproximadamente constante.

El control de presión se logra a base de un sistema "Mercoïd" que recibe la señal de presión de un tubo bourdón que actúa también sobre un interruptor de mercurio, al cuál se ajusta mediante dos agujas que señalan la presión a la cuál se apaga y la presión a la cuál la caldera vuelve a encender.

El dispositivo "Visaflame" que "-ve"- recibe la señal luminosa de la flama mediante una fotocelda integrada a un circuito que mantiene cerrado y la caldera trabajando, pero si la luz no es suficiente, el circuito se abre y la caldera se apaga.

Si el nivel de agua también es bajo, la caldera se apaga, debido a que los balancines de mercurio conectados a un flotador, interrumpen el circuito eléctrico.

Si el tiro inducido no funciona correctamente y no hace el vacío necesario en la salida de los humos de la chimenea, un interruptor de vacío envía la señal respectiva y la caldera para por esta causa.

La válvula de seguridad es de resorte y está calibrada para relevar a 100 psig.

La caldera cuenta con una válvula de compu-

ta a la salida del vapor que funciona como válvula de paso y válvula de retención.

El encendido se logra mediante dos electrodos colocados de tal manera que la chispa de cada par haga contacto con chorros de combustible rociados por ambas toberas y se mantiene dicho arco durante todo el tiempo que la caldera permanece encendida.

ANALIZADOR DE GASES ORSAT HAYS

En la práctica, es quizás el más común de los aparatos empleados para este propósito. Consiste de una bureta de 50 ml de capacidad encaquetada, unida a tres pipetas, las cuales contienen absorbentes para CO_2 , O_2 y CO , siendo estas soluciones: sosa al 25% o potasa al 33%; pirogalato de potasio, comunmente llamado Pirogalol y Cloruro Cuproso respectivamente.

Las pipetas se encuentran llenas de rebaba de hierro, las dos primeras, y de alambre de cobre la tercera. Lo anterior es con el objeto de presentar una mayor superficie de contacto al gas. La bureta y el depósito al cuál está unida, contiene agua acidulada, coloreada con naranja de metilo, para indicar en un momento dado cualquier paso accidental de reactivo. La muestra gaseosa se alimenta al aparato a través del filtro mostrado fuera del analizador y a través de la válvula de tres pasos.

3.a) CALORIMETRO ISOENTALPICO

La determinación de la calidad de un vapor por medio de este aparato es uno de los métodos convencionales aprobados por la A.S.M.E.

Este calorímetro es un aparato por medio del cuál el vapor se expande a través de un pequeño orificio dentro de una cámara conectada a la presión atmosférica, de tal manera que la presión más allá del orificio, se considera la de la atmós

fera.

El calorímetro consiste de un tubo de expansión adiabática, una válvula de alimentación del vapor, manómetro y termómetro.

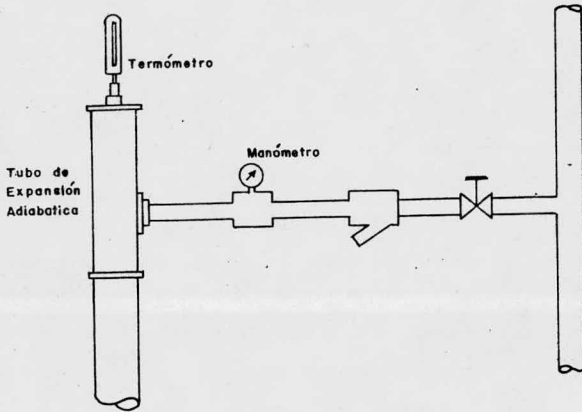


Fig. 1

CALORIMETRO ISOENTALPICO

3.b) CALORIMETRO DE BARRIL

Consiste principalmente de un barril de madera de aproximadamente 200 litros de capacidad y se complementa con una báscula de 500 Kg de capacidad, la línea de vapor con su válvula, manómetro y termómetro correspondiente.

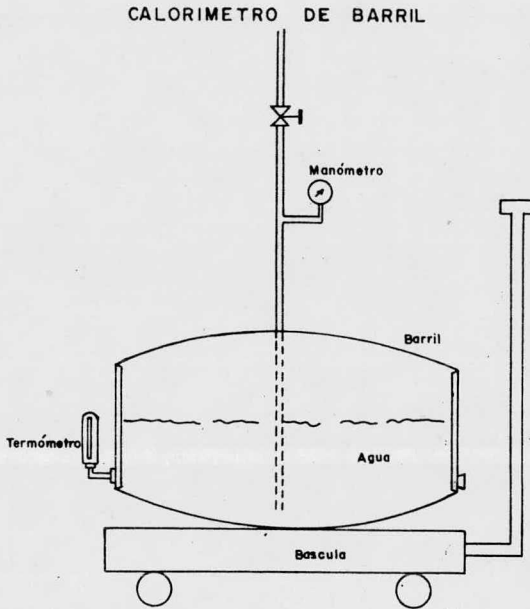


Fig. 2

TECNICA DE OPERACION EN LA CALDERA

Encendido. Alinear válvulas de la línea de agua antes y después de la bomba de alimentación.

Alinear válvulas de la línea de combustible - hasta la bomba correspondiente.

Conectar los interruptores generales.

Arrancar la bomba de alimentación de agua para llevar la caldera hasta su nivel indicado.

Encender la caldera una vez que el agua ha - llegado al nivel de trabajo.

Tomar muestras gaseosas durante el tiempo que la caldera se encuentre encendida, antes de llegar a la presión -

de trabajo y después durante los períodos que vuelve a encender - para recuperar la pérdida de presión por el consumo de vapor en - los diferentes equipos que lo emplean.

TECNICA DE OPERACION DEL ANALIZADOR DE GASES ORSAT HAYS

- 1) Preparar una solución de Na_2SO_4 al 10%.
- 2) Colocar la válvula múltiple del aparato en posición -2-.
- 3) Inflar la bolsa de hule con aire comprimido.
- 4) Desconectar los tubos de hule de la parte trasera de las pipetas y acoplar la bolsa de hule, ya inflada, a cualquiera de los tubos desconectados.
- 5) Aforar la pipeta elegida oprimiendo la bolsa de hule cuidadosamente y abriendo la válvula correspondiente - que se encuentra en la parte superior del aparato haciendo llegar la solución hasta el aforo de la pipeta y cerrando dicha válvula cuando el aforo se haya logrado.
- 6) Repetir la operación para las demás pipetas.
- 7) Aforar la bureta hasta su marca levantando el frasco auxiliar de tal manera que la solución llene la bureta, - 20 ml - , y el recipiente de la parte superior de la misma - 30 ml - lograndose un aforo total de 50 ml. En el momento que se alcanza el aforo, se tapa el recipiente auxiliar con un tapón de hule o de corcho y se baja hasta el mismo nivel donde se encuentra el analizador.
- 8) Cambiar la válvula múltiple a posición -1-
- 9) Conectar la manguera de muestreo a la salida de los gases del muestreador enchaquetado de la chimenea.
- 10) Abrir la válvula del muestreador y "bom -- bear" el gas con la perilla de hule, retirando poco a poco el tapón de hule del frasco auxiliar y dejando que el gas llene la bu-

reta hasta la marca "cero". Al llegar a esta marca, tapar nuevamente el recipiente auxiliar con el tapón de hule.

11) Dejar escapar esta muestra inicial de gas poniendo la válvula múltiple en posición -2-. Repetir el bombeo del gas para tener una nueva muestra atrapada en el aparato.

12) Cambiar la válvula múltiple a posición -3-.

13) Abrir la válvula superior de la pipeta que contiene KOH. Destapar el frasco auxiliar y subirlo de tal manera que el líquido empuje el gas hacia la pipeta. Bajar el recipiente hasta el nivel de trabajo y leer en la bureta la contracción de volúmen. Repetir la operación tres veces, anotar cada lectura y obtener un promedio.

14) Bajar el frasco auxiliar de tal manera que se obtenga nuevamente al aforo de la pipeta y cerrar la válvula correspondiente.

15) Repetir la operación para otras dos pipetas.

16) Colocar la válvula múltiple en posición -2- para retirar el gas muestreado.

17) Tomar tantas muestras como indique el instructor.

Los componentes de la muestra gaseosa se concen de la siguiente manera:

$$\% \text{ Componente} = \frac{\text{disminución de volúmen}}{\text{volúmen de la muestra}} \times 100 \quad (4)$$

TECNICA DE OPERACION DEL CALORIMETRO ISOENTALPICO

- 1) Verificar presión de vapor en la caldera.
- 2) Pasar vapor al calorímetro a la presión fijada por el equipo de trabajo.
- 3) Tomar lecturas de la presión y la tempera-

tura del vapor en el calorímetro.

4) Repetir la operación a diferentes presiones.

La calidad del vapor húmedo se puede obtener por la formula (5).

$$x = \frac{h_c - h_f}{h_{fg}} \quad (5)$$

Donde: h_c = Entalpia del vapor dentro del calorímetro.

h_f = Entalpia del líquido saturado.

h_{fg} = Entalpia del vapor seco.

La calidad del vapor se puede determinar directamente empleando el diagrama de Molliere.

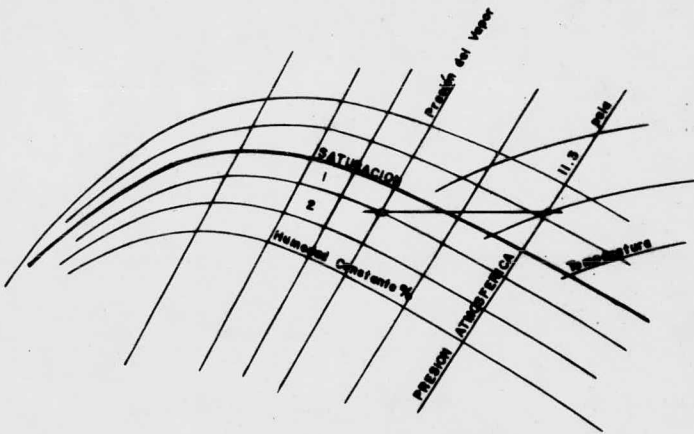


Fig. 3

TECNICA DE OPERACION DEL CALORIMETRO DE BARRIL

- 1) Pesar el barril vacío.
- 2) Alimentar agua hasta la mitad del barril.
- 3) Pesar nuevamente el barril y medir la temperatura del agua.
- 4) Burbujear vapor a presión constante durante 3 a 5 minutos.
- 5) Agitar el barril, determinar la temperatura del agua y volver a pesar.

La calidad del vapor puede determinarse por la fórmula:

$$x = \frac{w_{av} C_p (T_2 - T_1) - w_v C_p (T_3 - T_1)}{w_v} \quad (6)$$

Donde: w_{av} = Masa del agua con el vapor.

C_p = Calor específico del agua.

T_1 = Temperatura del agua fría.

T_2 = Temperatura del agua con el vapor en su seno.

T_3 = Temperatura del vapor.

w_v = Masa del vapor.

CALCULOS

- 1) Determinar la composición de los gases de salida de la caldera.
- 2) Efectuar los balances de materia y energía del combustible.
- 3) Determinar el porcentaje de aire en exceso empleado en la combustión.
- 4) Determinar la calidad del vapor con los calorímetros isoentálpico y de barril.

- 5) Para el combustible, determinar:
- a) El Factor de Caracterización. ✓
 - b) El peso molecular promedio. ✓
 - c) El punto de ebullición promedio. ✓
 - d) El contenido de Hidrógeno. ✓
 - e) El calor específico. ✓
 - f) El poder calorífico del combustible. ✓ *PC*

BIBLIOGRAFIA

STEAM BOILERS
Croft Terrel Williams
Mc Graw Hill

MANUAL FOR PROCESS CALCULATIONS
Clarke Loyal
Mc Graw Hill

CHEMICAL PROCESS PRINCIPLES I
Hougen, Watson & Ragatz
John Wiley & Sons

GUIA DE ESTUDIO

- 1) ¿Que es una caldera?
- 2) ¿Cómo se clasifican las calderas?
- 3) Describa las formas como se realiza la --
transmisión de calor en una caldera.
- 4) ¿Cómo se expresa la capacidad de una calde
ra?
- 5) Explique que es una caldera de tubos de hu
mo.
- 6) Describa la caldera de tubos de agua.
- 7) Describa la caldera tipo Marino Escocés.
- 8) Nombre y describa cuatro tipos de calderas
de tubos de agua.
- 9) Mencione los requisitos para lograr la com
bustión más adecuada de un combustible.
- 10) ¿Cuáles son los principales combustibles -
que se emplean en la industria?
- 11) Mencione y defina los diferentes tipos de
vapor que se emplean en la industria.
- 12) Mencione algunos usos industriales del va
por.
- 13) ¿Cuál es la función de las líneas de con
densado en un ramal de vapor?
- 14) Describa dos tipos de trampas de vapor.
- 15) ¿Qué se entiende por calidad de un vapor?
- 16) Mencione los diferentes métodos de análi
sis de gases.
- 17) Describa el analizador de gases Orsat.
- 18) Describa someramente la caldera del Labo
ratorio de Ingeniería Química.
- 19) Describa dos diferentes tipos de caloríme
tros.
- 20) Defina lo que es el Factor de Caracteriza
ción y el Poder Calorífico de un combustible.

LABORATORIO DE MOMENTO Y CALOR. CALDERA Y VAPOR

Muestra # Vmuestra= Tgas= Pv= Kg/cm ²	ANALISIS DE GASES		
	KOH	PIROGALOL	CuCl
	V ₁ =	V ₁ =	V ₁ =
	V ₂ =	V ₂ =	V ₂ =
	V ₃ =	V ₃ =	V ₃ =
Contracción de vol.	V _{prom} =	V _{prom} =	V _{prom} =
Composición del gas	CO ₂ = %	O ₂ = %	CO= %

Muestra # Vmuestra= Tgas= °C Pv= Kg/cm ²			
	V ₁ =	V ₁ =	V ₁ =
	V ₂ =	V ₂ =	V ₂ =
	V ₃ =	V ₃ =	V ₃ =
Contracción de vol.	V _{prom} =	V _{prom} =	V _{prom} =
Composición del gas	CO ₂ =	O ₂ =	CO=

CALORIMETRO ISOENTALPICO

Pv caldera= Kg/cm²

Vapor en la expansión

Pv Kg/cm ²	TOC

CALORIMETRO DE BARRIL

Pv caldera= Kg/cm²

	masa Kg	Pv Kg/cm ²	T °C
barril			
agua			
agua + vapor			
vapor			

GRUPO: _____ FECHA: _____ PROFESOR: _____

OBSERVACIONES: _____

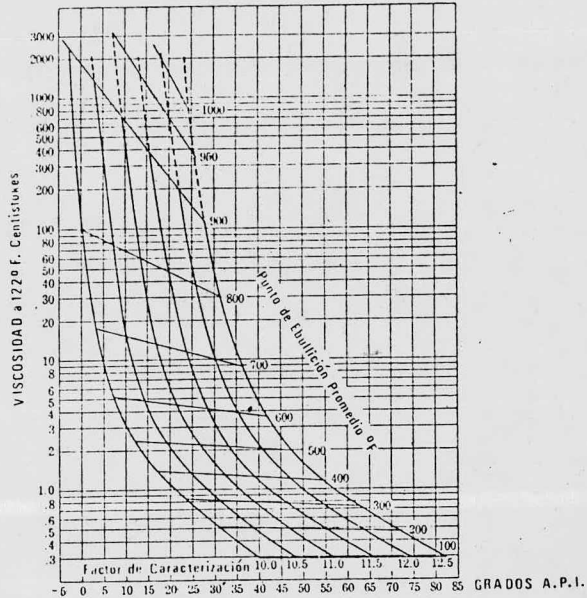


Fig. 4 - Factor de Caracterización vs Viscosidad

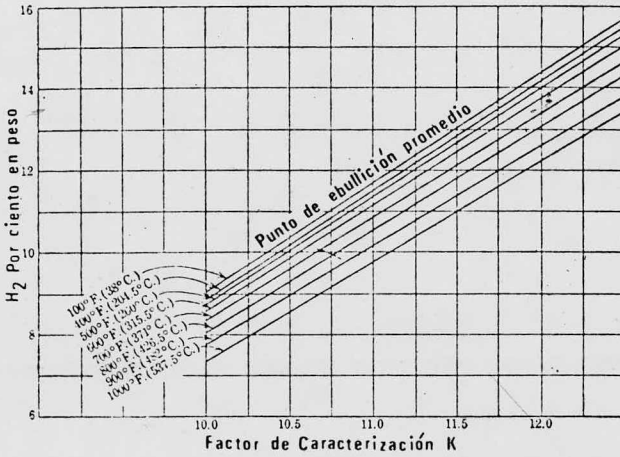


Fig. 5 - Factor de Caracterización vs % en peso de Hidrógeno

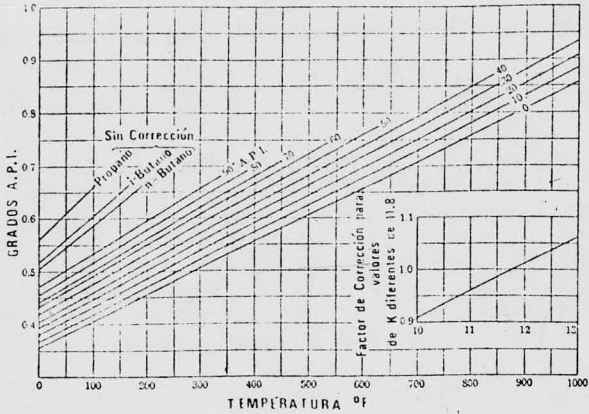


Fig. 6.- Calor Específico de aceites de petróleo, líquidos, donde $K=11.8$

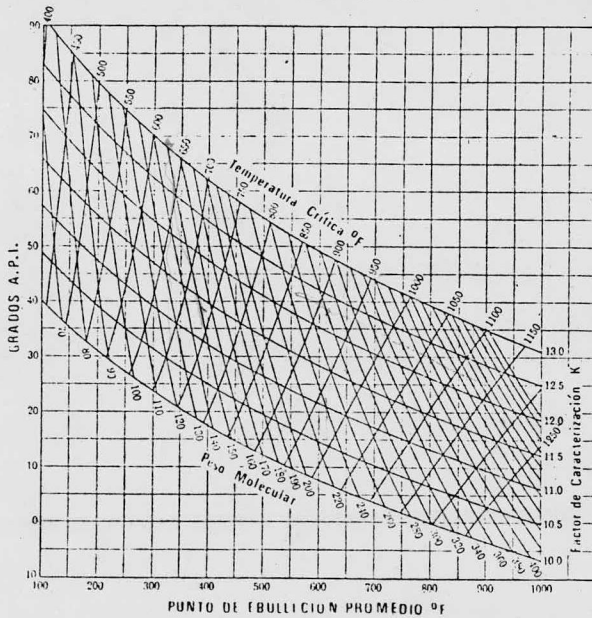


Fig. 7.- Peso Molecular, Temperatura Crítica y Factor de Caracterización de fracciones de petróleo

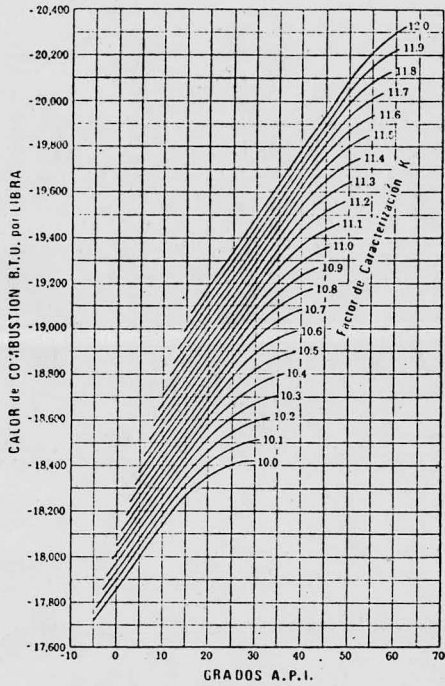


Fig. 8 .- Calor total de combustión de hidrocarburos líquidos

CAPITULO VIII

BIBLIOGRAFIA

VIII.- BIBLIOGRAFIA

- 1) Croft Terrel Williams TJ 285
C 85
STEAM BOILERS
Mc Graw Hill Book Co.

- 2) Clarke Loyal TPISS
C 55
MANUAL FOR PROCESS PRINCIPLES
Mc Graw Hill Book Co. 1950

- 3) D.A. Hougen y K.M. Watson
CHEMICAL PROCESS PRINCIPLES I
John Wiley & Sons Inc.

- 4) J.F. Fallon y K.M. Watson
NATIONAL PETROLEUM NEWS, TECHNICAL SECTION
Junio, 1944

- 5) R.R. Wenner
TERMOCHEMICAL CALCULATIONS
Mc Graw Hill Book Co.

- 6) Otto de Lorenzi, M.E.
COMBUSTION ENGINEERING
Combustion Engineering Inc.

- 7) Francis Wilfred
LOS COMBUSTIBLES Y SU TECNOLOGIA
Ediciones URMO, Bilbao

- 8) Ellenwood, Barnard & Hirshfeld
HEAT POWER ENGINEERING II
John Wiley & Sons INC.

- 9) Leicester F. Hamilton
CALCULOS DE QUIMICA ANALITICA
Mc Graw Hill Book Co.

- 10) Moring Faires, Virgil
PROBLEMS ON THERMODYNAMICS
The Macmillan Company

- 11) Sutton Francis
ANALISIS VOLUMETRICO

Impresiones "Aries"

Colombia 2 altos 2 5-26-04-72

México 1, D. F.

Rodriguez Gallardo ✓

AD DE O'

Sixfos Cos
Patricio