

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSI

ESCUELA DE CIENCIAS QUIMICAS.

CALCULOS PARA UNA ESTUFA DE RECUPERACION COWPER DE UN ALTO HORNO.

EX-LIBRIS



T E S I S

que para obtener el Título de :

Q U I M I C O

presenta :

OLGA LETICIA MARTINEZ ARMAIZ.

CON TODO CARINO A MIS PADRES:
SR. ING. J. ASCENCION MARTINEZ VALADEZ. (+)
SRA. LETICIA ARGAIZ DE MARTINEZ.

AGRADESCO INFINITAMENTE:
A MIS HERMANOS, TIOS, MAESTROS
Y A TODAS LAS PERSONAS QUE
DE ALGUNA MANERA DIRECTA
O INDIRECTA ME AYUDARON
A CULMINAR MIS ESTUDIOS
COMO QUIMICO.

C O N T E N I D O .

PROLOGO

- I.- GENERALIDADES.
- II.- 1.- CONSTRUCCION Y DISEÑO DE LAS ESTUFAS.
 - a).- Construcción y Diseño.
 - b).- Propiedades y Ensayos de los Refractarios.
 - c).- Composición de los Ladrillos Refractarios.
- 2.- FUNCIONAMIENTO DE LAS ESTUFAS.
 - a).- Función de cada una de las partes que la integran.
 - b).- Secuencia de los cambios.
- 3.- CONTROL ELECTRICO DE LAS ESTUFAS.
- 4.- LIMPIEZA DE LAS ESTUFAS.
- III.- CALCULOS DE LA EFICIENCIA A PARTIR DEL ANALISIS QUIMICO DEL GAS DEL ALTO HORNO.
- IV.- CALCULOS PARA LA CONSTRUCCION DE LA ESTUFA A PARTIR DE LAS NECESIDADES DEL ALTO HORNO.
- V.- CONCLUSIONES.
- VI.- BIBLIOGRAFIA.

PROLOGO.

En el presente estudio se analizan los recuperadores de calor de los altos hornos, a partir de su construcción y diseño, su funcionamiento, el control eléctrico, la manera como se calcula su eficiencia y los cálculos para su construcción.

El motivo que me lleva a realizar este estudio lo despertó la clase de metalurgia, así como la poca información que existe sobre temas como este y la culminación de mis estudios como químico; igualmente me motivó la obtención del título mediante la presentación de este trabajo como tesis profesional.

El objetivo del trabajo es recopilar en un solo volumen lo que se encuentra diseminado en un sinnúmero de obras para que las personas que sientan interés por adentrarse en el tema encuentren tanto datos teóricos como prácticos, así como los detalles que se deben tomar en cuenta para la construcción de las recuperadoras de calor.

El método empleado abarca tanto la parte teórica como práctica; para los datos teóricos se recurrió principalmente a "Metallurgy of Iron and Steel" de Bradley Staughton, "Metalurgia General" de Hoffman, "Tecnología Química" de Raymond Kirk más las otras obras que se indican en la bibliografía.

La práctica se llevó a cabo en Cia. Fundidora de Hierro y Acero, S. A. de Monterrey, N. L., en donde se comprobaron los datos teóricos y se recogió la información para el cálculo de las eficiencias y de la construcción de los recuperadores.

Agradezco infinitamente las facilidades que me brindaron en Cia. Fundidora de Hierro y Acero, S. A. de Monterrey, N. L., en especial a los Ingenieros José Angel Jasso, Raúl Flores, Zirahuen Lemuz y a mi asesor Ing. Armando Fanti V., igualmente al Lic. Rafael Montejano y Aguiñaga que con valiosa ayuda se llevó a cabo la redacción de la misma.

CAPITULO - I.

GENERALIDADES DE LAS ESTUFAS DE RECUPERACION.

GENERALIDADES.

Entre los instrumentos y aparatos empleados en siderurgia estan los altos hornos y las estufas Cowper.

Los altos hornos estan formados por dos conos unidos por sus bases mayores, su altura varia desde 35 m. a 90 m. El interior esta recubierto de ladrillo refractario, formando lo que se conoce por el nombre de camisa, y revestida en su parte exterior de lamina de acero. En la parte inferior del horno, que es cilindrica o prismática, hay varios agujeros — por los cuales penetran las toberas portadoras del aire caliente que proviene de las estufas, y en el fondo se haya el crisol en donde se reune el arrabio y la escoria en fusión. En la parte superior se encuentran — las chimeneas por donde salen los gases.

En los altos hornos se lleva a cabo la "reducción" del mineral de — fierro por el monóxido de carbono. Este proviene de la combinación química de carbono con el aire caliente de las toberas, que arde con gran desprendimiento de calor en la parte de los soplos del horno, produciendo — anhídrido carbónico, que en contacto con el carbon enrojecido, se reduce a monóxido de carbono. El cual con el oxígeno del mineral pasa otra vez a anhídrido carbónico dejando el hierro en libertad; merced a las grandes temperaturas que llegan alcanzar la parte de los soplos del horno, — se funde el hierro; parte de él se combina con el carbono, y se une con pequeñas cantidades de silicio, fosforo, azufre y manganeso formando el arrabio.

Los gases que salen por las chimeneas del horno están formados en — su mayoría por monóxido de carbono y sirven para calentar las estufas. — Estas se encuentran próximas al horno instaladas en series.

— Las estufas del alto horno son recuperadores de calor al convertir la energía química del gas en energía calorífica.

Al entrar el gas que proviene del alto horno a la estufa se combina con el oxígeno del aire proporcionada por un ventilador, y ésta combustión permite que la estufa sea calentada a 1200° C. al pasar los gases a través de ella; llamándose esta parte del ciclo "en gas".

Quando la estufa ya se haya calentado a la temperatura indicada se

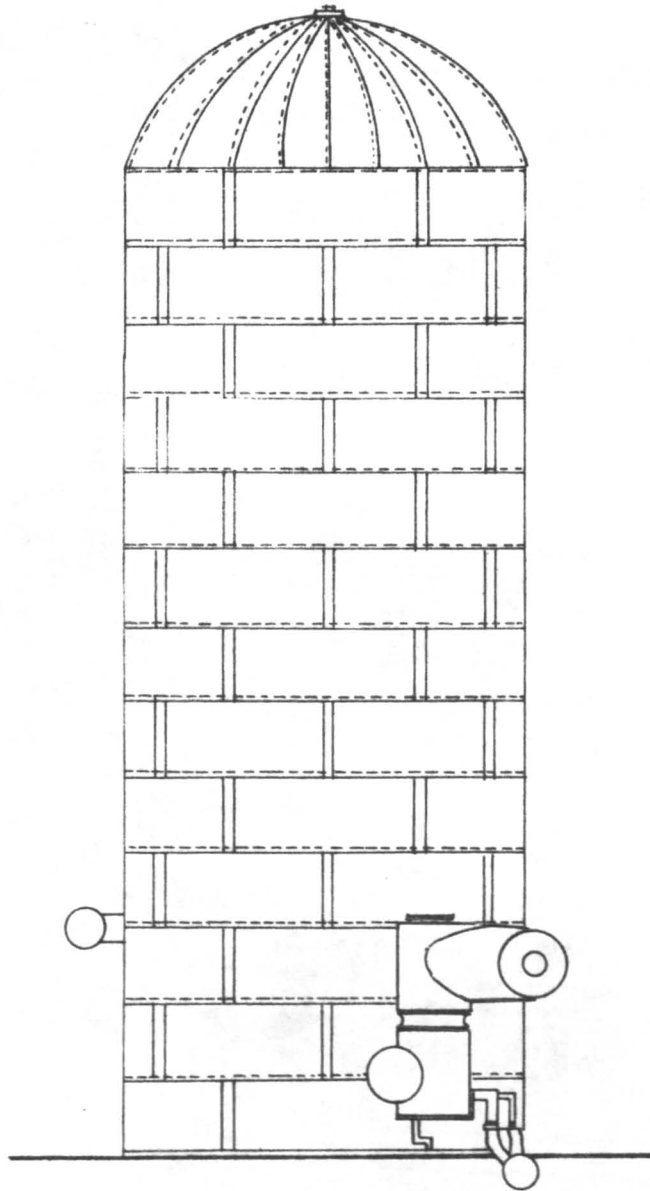
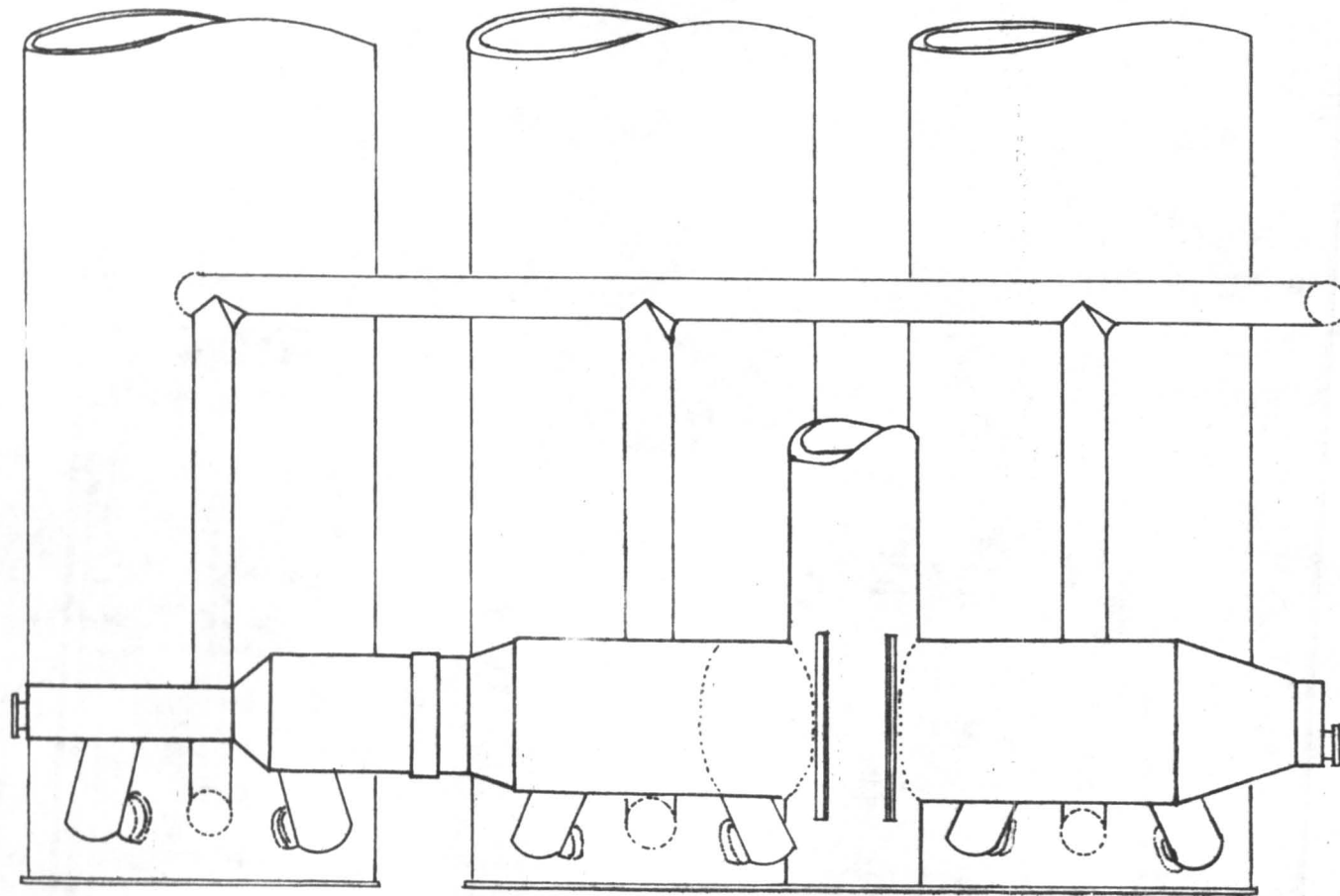


DIAGRAMA DE LA ESTUFA VISTA DE AFUERA



CONJUNTO DE TRES ESTUFAS

hace pasar aire que proviene de un turbosoplador, tal aire circula a la inversa de como lo hace el gas, para posteriormente ser inyectado al alto horno a una temperatura de 800° C. que es más baja de aquella en la que opera el alto horno. Sin embargo, se debe tener buen cuidado para que la inyección de aire caliente proporcionada por la estufa no vaya más allá de la temperatura preestablecida ya que este aire bajaría la temperatura del horno, y elevaría tanto el consumo de coque como el tiempo del proceso de fundición del hierro. Cuando la estufa está calentando el aire se dice que está "en aire".

Las estufas se instalan en series de 3 estufas como mínimo y 5 como máximo independientes unas de las otras, cada estufa completa su ciclo cuando ya haya pasado el gas que la calienta y el aire que va a calentar. El ciclo completo para cada una dura alrededor de 120 minutos, 80 minutos se encuentran "en gas" y 40 minutos "en aire".

Cuando se disponen 5 estufas pueden tener 2 "en aire" y 2 "en gas" y una en reserva, para cuando una de las que se encuentran trabajando sufra deterioros o están demasiado sucias esta la reemplaza evitándose un contratiempo en el proceso.

Estas estufas constituyen uno de los accesorios más importantes del alto horno, el diseño y cálculo de las dimensiones de las estufas es un problema complejo ya que intervienen varios factores entre los que destacan: La capacidad de construcción del horno, el consumo de coque por tonelada de arrabio esperado, el volumen del aire de soplo, el poder calorífico estimado para el gas producido, el diseño del refractario, etc.

CAPITULO - II.

1.- CONSTRUCCION Y DISEÑO DE LAS ESTUFAS.

- a).- Construcción y Diseño.
- b).- Propiedades y Ensayos de los Refractarios.
- c).- Composición de los Ladrillos Refractarios.

2.- FUNCIONAMIENTO DE LAS ESTUFAS.

- a).- Función de cada una de las partes que la integran.
- b).- Secuencia de los Cambios.

3.- CONTROL ELECTRICO DE LAS ESTUFAS.

4.- LIMPIEZA DE LAS ESTUFAS.

DISEÑO Y CONSTRUCCION.

Las estufas Cowper mencionadas, tienen forma cilíndrica y constan esencialmente de tres partes que son: La cámara de combustión, la zona de chimenea y el domo.

La cámara de combustión es la parte de la estufa que tiene las menores dimensiones, es de forma cilíndrica pero helicoidal y abarca hasta un poco más abajo del domo.

La zona de chimeneas es un emparrillado de ladrillo refractario que se levanta sobre la base de la estufa colocados en tal forma que quedan huecos por los cuales ha de circular tanto el gas caliente del alto horno, como el aire que se va a calentar.

El domo tiene forma de arco de medio punto y es la parte más importante, ya que de su buena o mala construcción depende que el calor sea o no reflejado.

La construcción de las estufas es de dos tipos de paredes, la exterior que es de lámina de acero y la interior que es de ladrillo refractario, entre estas paredes existe un espacio anular relleno con material aislante bastante suelto para permitir las contracciones y expansiones del material refractario.

Las partes principales de que esta formada la estufa son las siguientes:

- 1 Línea principal de aire frío.
- 2 Línea de mezcla.
- 3 Válvula de mezcla.
- 4 Pozo de aire caliente.
- 5 Válvula de aire caliente.
- 6 Línea principal de aire caliente.
- 7 Válvula de gas del alto horno.
- 8 Cámara de combustión.
- 9 Zona de chimeneas.
- 10 Válvula de chimenea.
- 11 Quemador.
- 12 Válvula de aire frío.

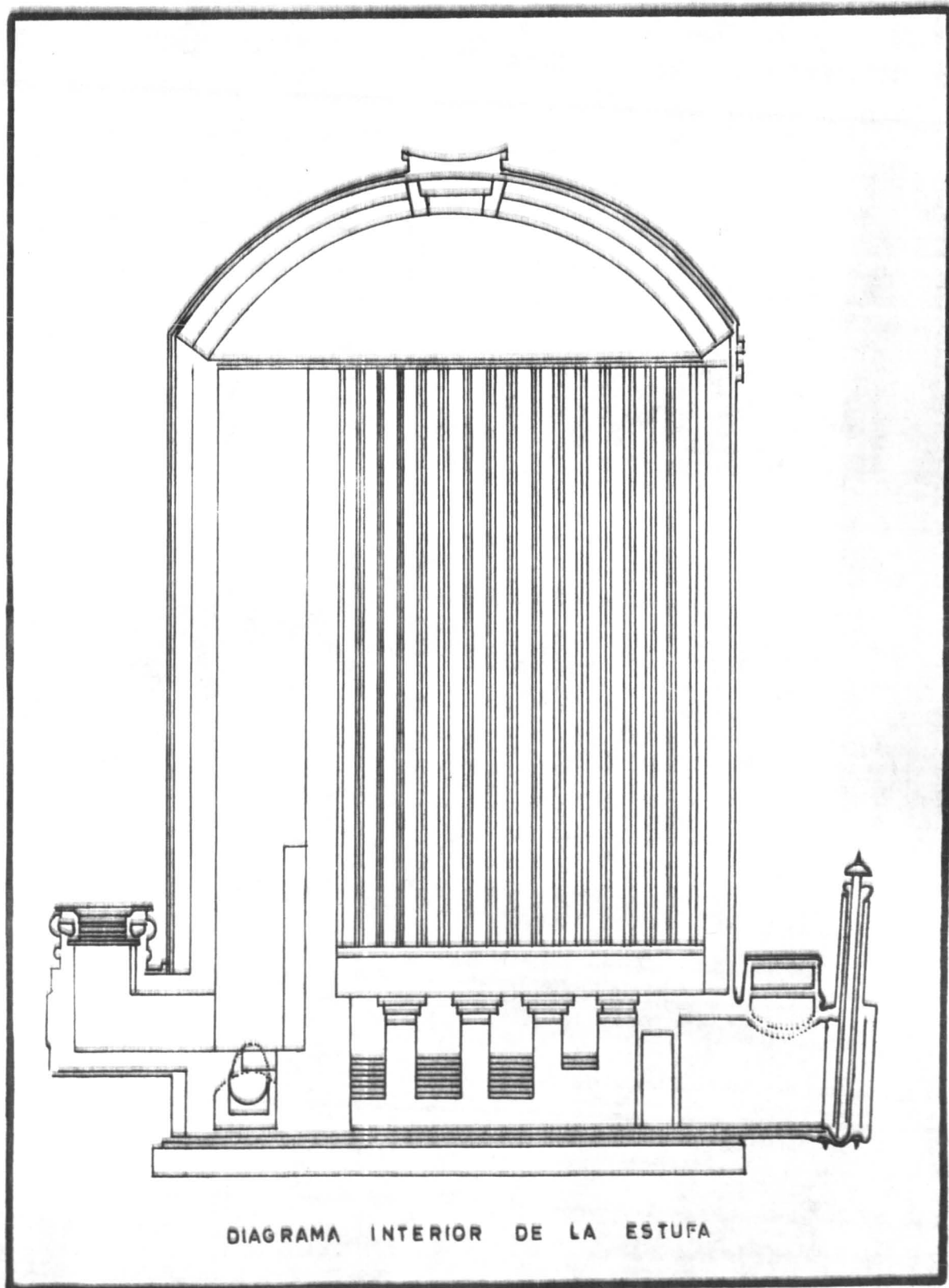


DIAGRAMA INTERIOR DE LA ESTUFA

13 Válvula de aire frío para la combustión.

14 Ventilador.

PROPIEDADES Y ENSAYOS DEL MATERIAL REFRACTARIO.

Para la designación del material refractario que se utiliza en la construcción de las estufas, se debe tomar en cuenta sus propiedades y practicar algunos ensayos.

PROPIEDADES.

1 La rigidez, permanencia de tamaño, forma y resistencia mecánica a la temperatura de operación.

2 Capacidad para resistir el choque térmico, debido a las fluctuaciones que se producen durante la entrada y salida de gas caliente y aire frío.

3 Resistencia al ataque químico por cualquier clase de gas, escoria o metal.

4 Resistencia a la rotura por el frío.

5 Conductividad térmica.

6 Porosidad.

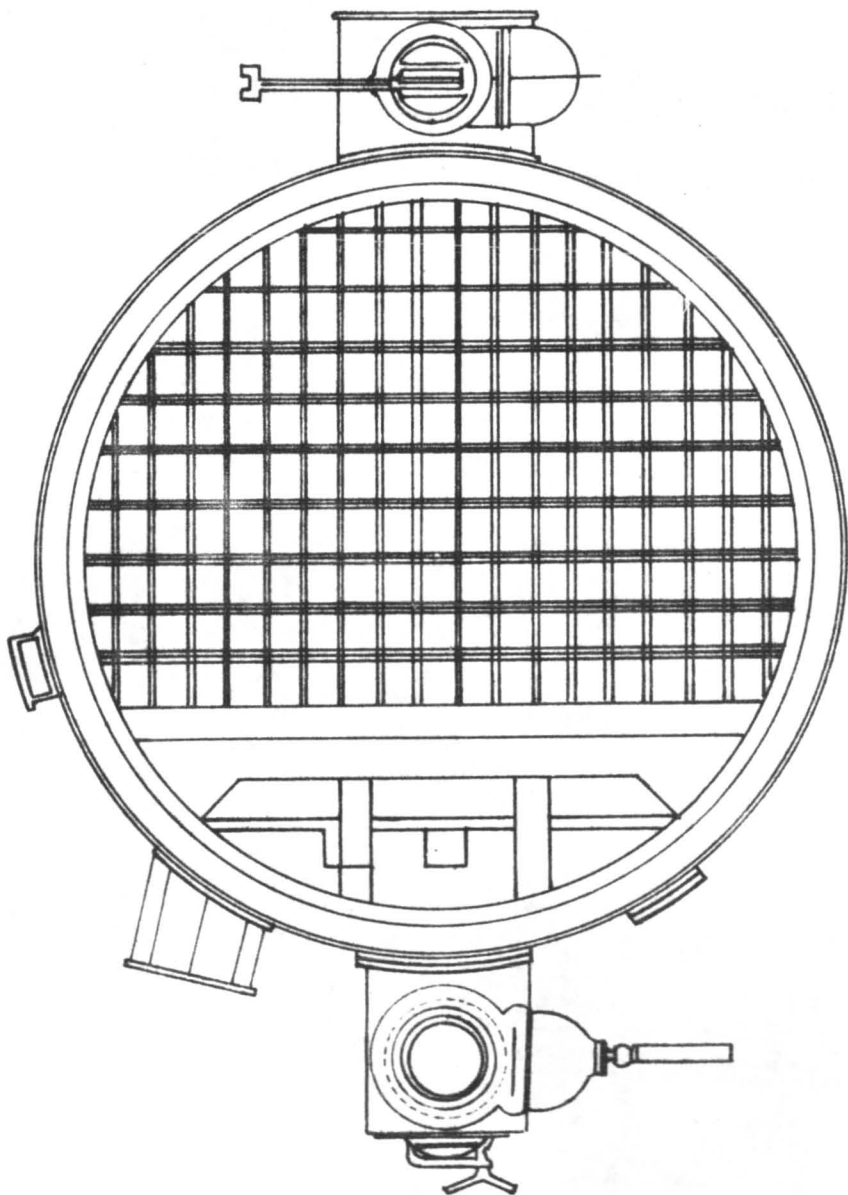
ENSAYOS.

Las propiedades que se determinan en realidad, son a veces una guía indirecta de su calidad y deberán interpretarse cuidadosamente. Se han perfeccionado ensayos empíricos para resistencia al gas, a la rotura, etc; que se proponen ser una indicación más directa de su comportamiento.

1 Exámen visual.- Indicará la uniformidad general, vitrificación, Textura. Es un trabajo para un ojo experto, aunque la variación dentro de una carga o cargas, serán probablemente significativas.

2 Exactitud de dimensiones.- Para construir grandes estructuras (estufas). Se utiliza una regla o calibre, los extremos deberán ser rectos y estar libres de virutas, las caras serán planas. Si reúnen todas estas condiciones los ladrillos se pueden colocar por ajuste es decir, sin cemento.

3 Resistencia mecánica.- Estando en frío el material refractario se mide mediante un ensayo sencillo de compresión llamado ensayo de aplastamiento en frío. En caliente no se mide directamente. En su lugar se de -



VISTA SUPERIOR DE LA ESTUFA

termina una temperatura a la cual la deformación bajo carga normalizada es rápida. El ensayo se llama refractariedad bajo carga (RUL).

4 Resistencia al choque térmico.- Se mide mediante un ensayo de rotura. No existen ensayos completamente normalizados, pero los materiales se pueden comparar usando condiciones constantes durante el ensayo los cuales deberán corresponder a las condiciones de trabajo.

5 Resistencia al gas.- Hay varios tipos de ensayos, el más corriente consiste en pasar una corriente de gas típico. El conjunto se calienta a una temperatura de trabajo aproximadamente durante una hora, después se enfría y secciona. Se anota la extensión de penetración del gas y se compara con otras muestras.

Otros de los métodos empleados consiste en mezclar refractario y gas en cantidades medidas en varias proporciones y determinar el punto de fusión o refractariedad de la mezcla. Se puede representar gráficamente el punto de fusión frente al porcentaje de gas y se comparan las gráficas de diferentes muestras.

6 Conductividad térmica.- El aparato utilizado comprende un plato caliente en el que se coloca la muestra sobre su cara más grande, con un aislamiento alrededor diseñado para asegurar el flujo de calor paralelo a través de la muestra. En la parte superior se encuentra un platillo de latón para distribuir la temperatura por igual, y en el centro, un disco de cobre ennegrecido aislado térmicamente del plato pero en el mismo plano. La temperatura de la cara caliente y el disco se puede medir con termopares finos, alrededor del tabique se colocan tabiques deflectores y se mide la temperatura del aire que está sobre el conjunto. El calor perdido desde el disco por convección y radiación se obtiene por formulas empíricas, y la conductividad térmica se calcula utilizando el calor que atravieza el bloque y el gradiente de temperatura, después que se han establecido las condiciones de equilibrio.

7 Porosidad verdadera.- Es un ensayo popular para refractarios y se considera generalmente como un buen índice de calidad. Su medida exige la determinación de densidad real y aparente por métodos normalizados.

La porosidad se fija en la etapa de manufactura por la graduación

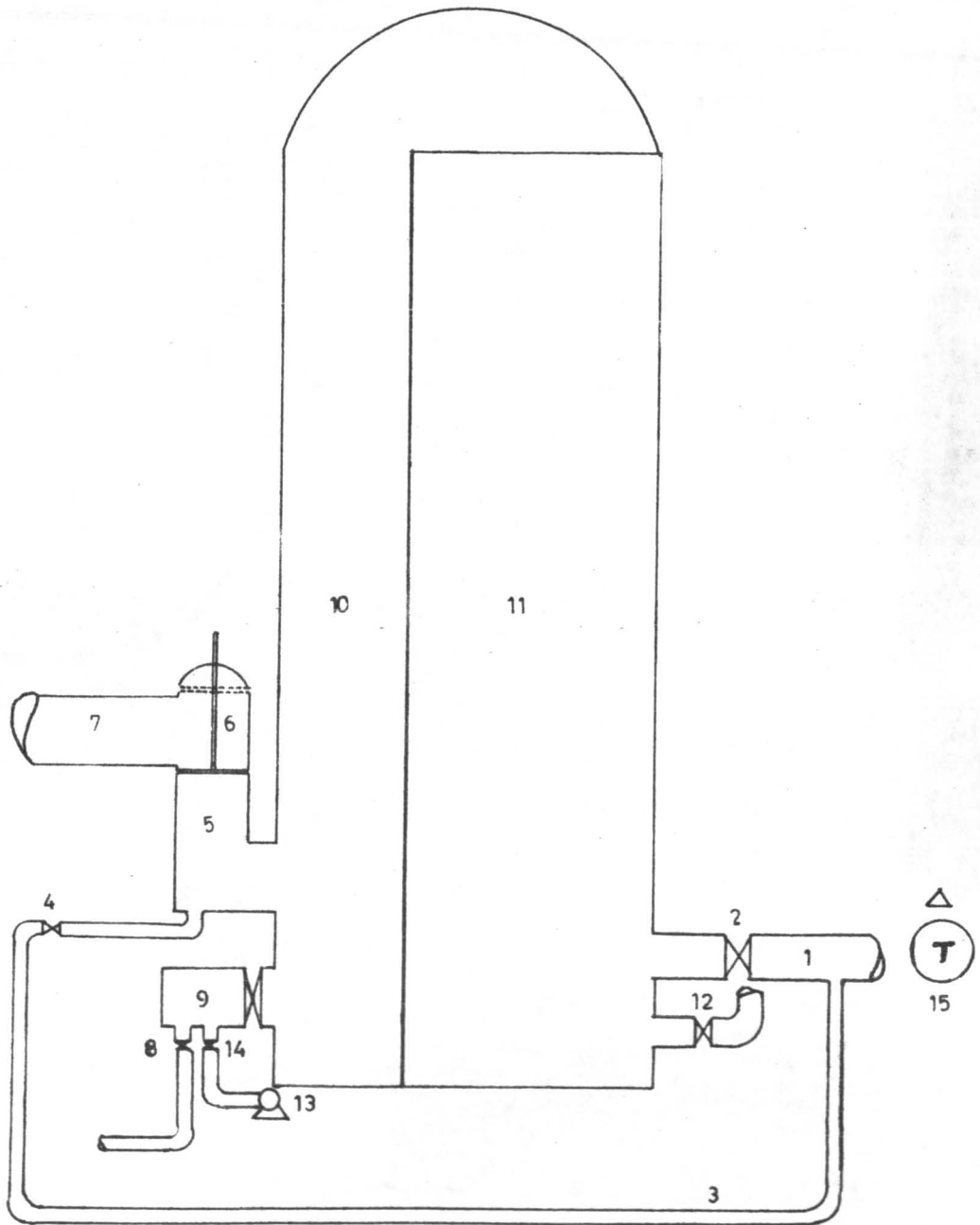


DIAGRAMA DE FUNCIONAMIENTO

de tamaño del mineral original, por la presión de moldeo y por la temperatura de cocción y su duración; el efecto de las dos últimas depende mucho de la composición. La porosidad pequeña lograda por el tamaño y la presión de moldeo es útil, por conferir alta resistencia a la corrosión y al ataque de los gases.

8 Densidad real y aparente.- La densidad real se determina con material triturado y molido mediante un picnómetro. La densidad aparente es difícil determinar con precisión. Un método corriente es el evacuado en un desecador de vacío y el anegamiento con parafina para ocupar el espacio poroso seguido por pesada con aire y con parafina. *

COMPOSICION DEL MATERIAL REFRACTARIO.

La composición del material refractario varia entre los siguientes porcentos:

Sílice	55.8	40.08	%
Alumínia	45.7	39.53	"
Oxido de fierro	2.7	0.94	"
Magnesita	1.17	0.17	"
Cal	0.76	0.38	"
Oxido de titanio	3.17	1.45	"
Alcalis de sodio y potasio	1.54	0.32	"

* Véase Gilchrist, J. D. Combustibles y Refractarios, Madrid, Ed. Alhambra, 1967.

FUNCION DE CADA UNA DE LAS PARTES QUE LA INTEGRAN.

Las estufas operan por medio de las partes descritas con anterioridad, aquí señalaremos la manera en que ellas intervienen en la operación

- 1 Línea de aire frío: Realiza su función al traer aire frío del turbosoplador, a la estufa para calentarlo.
- 2 Válvula de aire frío: Aisla a la estufa de la línea principal de aire frío cuando se encuentra en secuencia de "en gas".
- 3 Línea de mezcla: Se mezcla el aire frío con el aire caliente que sale de la estufa y tiene como fin controlar el aire de soplo.
- 4 Válvula de mezcla: Tiene como fin aislar la estufa de la línea de mezcla cuando la estufa se encuentra en secuencia de "en gas", cerrando dicha válvula.
- 5 Pozo de rafagas de aire caliente: Es una separación de estructura cilíndrica que hace casa a la válvula de aire caliente.
- 6 Válvula de aire caliente: Está válvula está refrigerada con agua y aísla a la estufa de la línea principal de aire caliente. Se abre en secuencia de "en aire" y cierra "en gas".
- 7 Línea principal de aire caliente: Lleva el aire caliente de la estufa a la línea de mezcla que ha de llevarlo al alto horno.
- 8 Válvula de gas: Regula el flujo de gas del alto horno al quemador de la estufa.
- 9 Quemador: Cámara donde las rafagas del gas y el aire que viene del ventilador se mezclan ardiendo en la cámara de combustión por las condiciones que imperan dentro de la estufa.
- 10 Cámara de combustión: Es la parte de la estufa en donde se eleva la flama hasta alcanzar el domo, de ahí los gases calientes pasan a las chimeneas.
- 11 Chimeneas: Al pasar los gases calientes, los ladrillos absorben el calor al impedir el paso de éstos durante un tiempo lo suficientemente grande dentro de la zona para almacenar todo el calor o la mayor parte de éste que llevan los gases debido a la combustión antes efectuada.
- 12 Válvulas de la chimenea: Aíslan a la estufa de la chimenea cuando se encuentra en secuencia de "en aire", impidiendo la salida del aire -

que se esta calentando. Cuando las estufas se encuentran en gas se abre para dar salida a los gases calientes que ya hayan pasado por la estufa

13 Abanico del aire de combustión: Proporciona el material que facilita la combustión del gas.

14 Válvula de aire para la combustión: Regula la entrada de aire para la combustión del gas.

La temperatura del domo se controla usualmente por excesos de aire, cuando el domo de la estufa llega a la temperatura que ha sido pre-determinada, se abre el abanico enviando más aire del necesario para la combustión del gas, de esta manera se mantendra la temperatura deseada.

La temperatura de la chimenea se controla cuando el domo alcanza - su mayor temperatura a la que esta fijada, la chimenea tiene también un incremento más o menos parecido pero no a tan alta temperatura, lo cual podria significar que el calor de los gases esta siendo desperdiciado - o que no esta siendo absorbido por las chimeneas; o bien, si por el contrario, la temperatura es muy baja quiere decir que el domo no ha llegado a su temperatura límite, o que el aire que está pasando por la estufa la está enfriando, debido a que el aire que ya se hizo circular absorbió la mayor parte de las calorías.

SECUENCIA DE LOS CAMBIOS.

Las secuencias que siguen las estufas son semiautomáticas controladas por circuitos eléctricos los cuales mandan señales para que cada una de las válvulas cierren o abran según sea la secuencia que se sigue en ese momento.

Secuencia de la estufa cuando se cambia de aire a gas.

1 Cierra válvula de mezcla.

2 Cierra válvula de aire caliente.

3 Cierra válvula de aire frío.

4 Abre válvula de la chimenea No. 2.

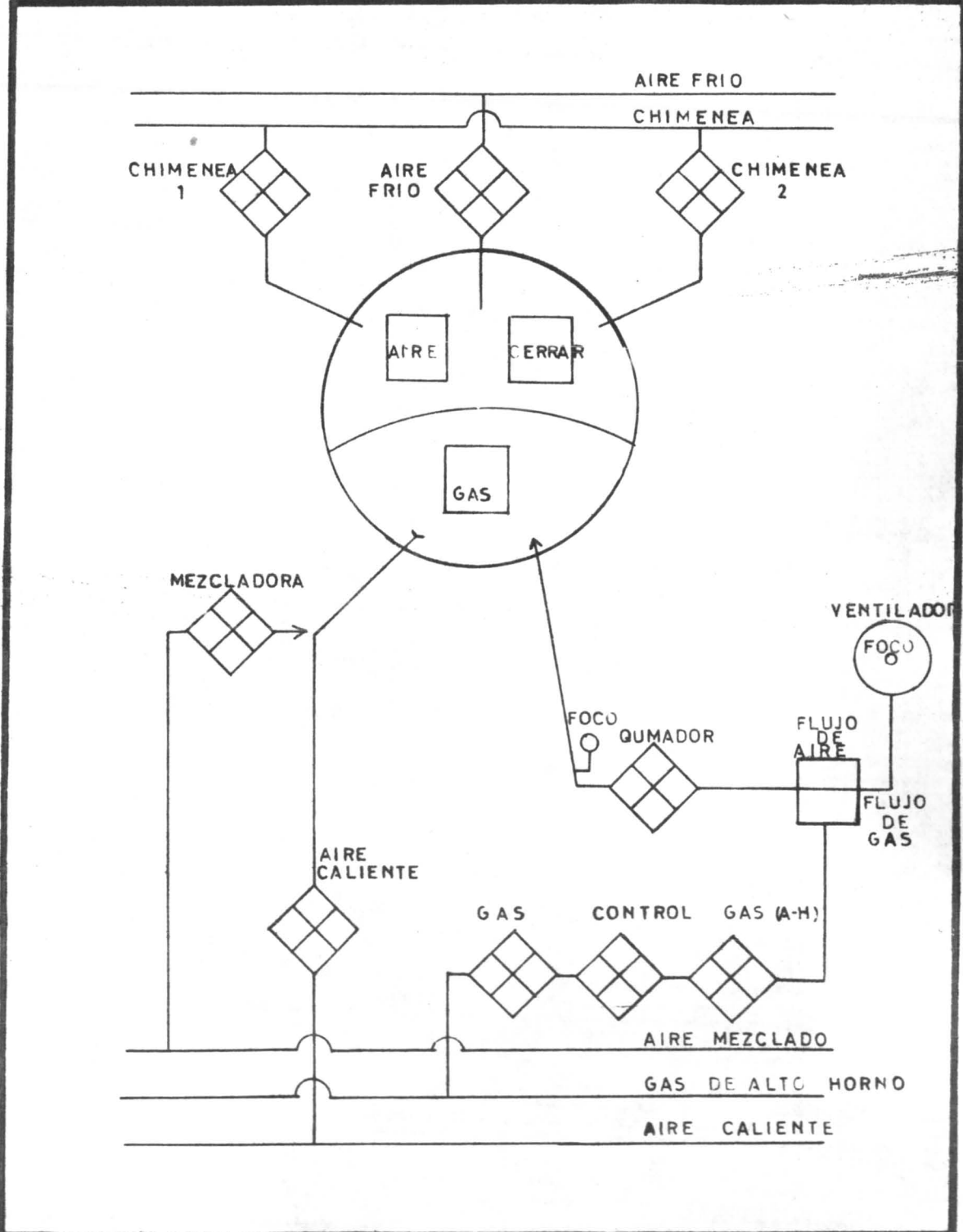
5 Abre válvula de la chimenea No. 1.

6 Abre válvula del quemador.

7 Abre válvula de mariposa de la línea del gas.

8 Abre válvula de control (aire del ventilador).

9 Abre válvula de doble compuerta de la línea del gas.



Secuencia de la estufa cuando cambia de gas a aire.

- 1 Cierra válvula de mariposa.
- 2 Cierra válvula de control.
- 3 Cierra válvula de cobre compuerta.
- 4 Cierra válvula del quemador.
- 5 Cierra válvula de la chimenea No. 1.
- 6 Cierra válvula de la chimenea No. 2.
- 7 Abre válvula de aire frío.
- 8 Abre válvula de aire caliente.
- 9 Abre válvula mezcladora.

Como se ve en las descripciones anteriores, el cambio de aire a gas es el inverso del cambio de gas a aire.

CONTROL ELECTRICO.

a) Los controles tienen una secuencia de candado, o sea si no se realiza el primer paso no se verificará el segundo. Las secuencias de "en aire", "cerrado" son operadas con semiautomático, poniendo el switch de control (AMSW) en su posición respectiva.

b) También se permiten que los cambios de las estufas sean realizados manualmente mediante botones localizados en las proximidades de las válvulas en una secuencia de candado cuando se opera manualmente.

c) El tablero de instrumento controla, regula y supervisa la combustión del gas, mediante la relación aire-combustible y sistema detector de flama. Este sistema de control de combustión incluye los dispositivos de seguridad los cuales cierran el gas a las estufas cuando se tiene baja temperatura de combustión, o que la temperatura de la bóveda exceda el punto de emergencia, o en el caso de la ruptura de termopares, falla del abanico o falla de la flama. En el caso de que los problemas antes mencionados ocurran, el sistema cierra inmediatamente la válvula de combustión y la válvula de mariposa de seguridad mediante la desexcitación del embrague magnético y también mediante el motor que lo acciona.

d) El tablero de instrumentos controla y regula la temperatura del aire que esta siendo soplado al horno mediante la válvula de maripos, reguladora de la mezcla.

Para la secuencia semiautomática de inversión, los switches selectores (AMSW) en posición semiautomática, y otros switches de transferencia (BKSW) en posición manual, la inversión de las estufas y la señal inicial que acompaña un cambio debe ser operada por el encargado de la estufa.

Para iniciar la secuencia definida, un switch de control (MSEL) de tres posiciones se encuentra en el panel de cada estufa, con aire, cerrado y gas.

Para colocar una estufa en aire el operador debe girar el switch a aire. Después de esta señal inicial las secuencias de las válvulas se siguen automáticamente. De igual modo para colocar una estufa en gas el switch de control (MSEL) se girará a la posición de gas. La secuencia de

las válvulas se llevan automáticamente.

Los cambios de las estufas de "en aire" a "en gas" o viceversa, se supervisa mediante el tablero de control por la excitación o desexcitación de focos. Cuando algún foco del tablero no enciende, indica que hay alguna falla mecánica o eléctrica.

Al completarse la secuencia la señal indicadora "en secuencia" se desexcita y la de "en aire" o "en gas" se encenderá según sea el caso.

Bajo la fase semiautomática, el sistema está conectado en interlock y bajo ninguna circunstancia puede una estufa ser sacada de "en aire". Con una estufa "en aire" las otras dos pueden ser colocadas "en gas" o "en aire".

En el sistema de operación semiautomático una estufa puede ser colocada en condiciones de "cerrado" lo mismo a partir de "en aire" que "en gas".

Para cambiar una estufa en secuencia manual los switch selectores (AMSW) (BKSW) deben estar en manual y los switch (MSEL) en la posición deseada "en gas" o "en aire". Con los switch en las condiciones correctas, las válvulas pueden ser operadas por los botones exteriores, controlando la apertura o cierre de las válvulas únicamente en la misma secuencia establecida en semiautomático.

Bajo la secuencia manual todos los otros controles, tales como control de combustión, secuencia, etc., son conservados.

LIMPIEZA DE LA ESTUFA.

Debido a que la limpieza del gas no se realiza completamente a causa de algunas deficiencias del proceso, o simplemente porque no haya sido - optima la operación, produce cierto acumulamiento en la zona de chimeneas de los sólidos presentes en el gas. Polvillos de carbon mineral y fundente.

Por la acumulación de los sólidos la eficiencia de la estufa va disminuyendo por la poca o menor absorción del calor en las zonas que se encuentran afectadas por el recubrimiento, es necesario limpiar periódica - mente las chimeneas.

Las chimeneas se limpian con una varilla que va hasta el fondo de - ellas. Estas varillas están provistas de puntas en ambos lados. En la ope - ración se debe tener cuidado al introducir las varillas y rotarlas ya que podria implicar un deterioro en los ladrillos al ser golpeados por las - puntas de ellas.

La varilla al golpear los polvos, los hacen caer al fondo de la estu - fa permitiendo que sean extraidos. La operación debe efectuarse cuando la estufa se encuentre lo suficientemente fría a fin de que el personal pue - da estar parado encima de la chimenea y facilitar el trabajo.

CAPITULO - III.

CALCULOS DE LA EFICIENCIA A PARTIR DEL ANALISIS QUIMICO

DEL GAS DE ALTO HORNO.

CALCULOS DE LA EFICIENCIA A PARTIR DEL ANALISIS QUIMICO DE GAS.

La eficiencia térmica de las estufas depende de la temperatura de la chimenea, pérdidas por radiación y el por ciento de exceso de aire.

Para calcular los excesos de aire se toman muestras de gas de la chimenea, cuando la estufa se encuentra "en gas" y el gas se analiza por el método de Orsat.

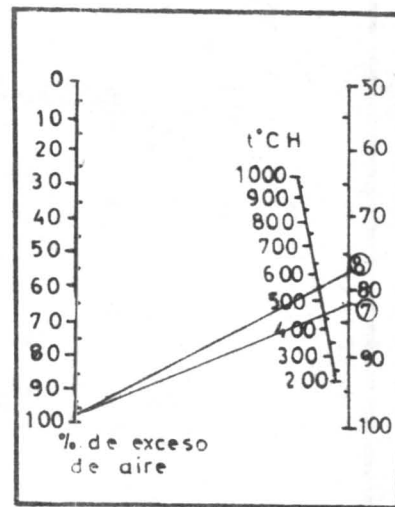
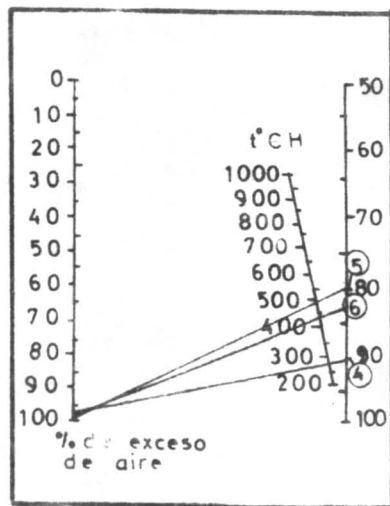
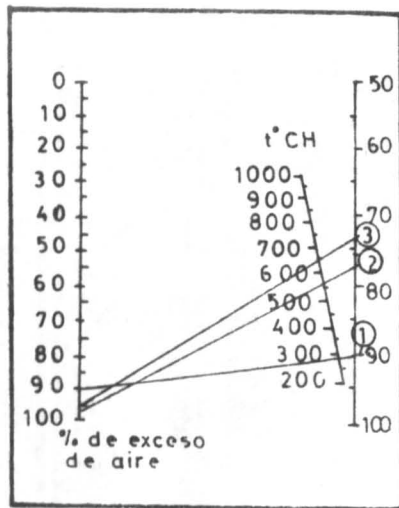
El método de Orsat se basa en la absorción de los gases que constituyen el gas del alto horno por diferentes sustancias. Este es un método volumétrico.

El método de Orsat consiste en un aparato en el cual se mide la muestra en una bureta para gases provista de una camisa de agua que está conectada por el extremo inferior a un bulbo nivelador y por su extremo superior a un tubo de distribución provisto de llaves del que penden una serie de pipetas que contienen los reactivos químicos necesarios y elementos de combustión. El gas está confinado sobre mercurio o sobre una solución acuosa, el volumen se mide a la temperatura ambiente y a la presión atmosférica.

La muestra de gas se aspira dentro de la bureta, donde se mide su volumen. Después se traslada por desplazamiento de líquido hasta la pipeta apropiada y se vuelve a llevar a la bureta por el mismo sistema de desplazamiento de líquido, este procedimiento se continúa hasta que todo el gas se ha puesto en contacto con el reactivo y el volumen del residuo es constante; se anota entonces el volumen y se continúa el análisis haciendo circular a través de otros reactivos o elementos de combustión, midiendo después de cada operación el volumen del gas. Partiendo de estas medidas se calcula la composición en porcentaje de los gases por medio de la ley de Dalton y de los gases perfectos.

El gas de alto horno está compuesto de oxígeno, monóxido de carbono, dióxido de carbono, metano, hidrógeno, nitrógeno, y vapor de agua, cada uno es absorbido por sustancias específicas.

El oxígeno es absorbido por el fósforo blanco, cobre reducido, los reactivos ferrosos, cuprosos y manganosos, el cloruro cromoso, pirogalgalcalino. También se emplean las soluciones de hidrosulfito de sodio --



MONOGRAMA PARA CALCULAR LAS EFICIENCIAS DE LA ESTUFA

($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$) con catalizadores como el carmín de índigo, que indica por cambio de color el agotamiento del reactivo.

El monóxido de carbono es absorbido por soluciones amoniacales o ácidas de cloruro cuproso y por reactivos compuestos de sulfato cuproso y 2-naftol, la absorción es parcialmente reversible y no debe sobrecargarse el reactivo.

El hidrógeno se absorbe por diversos reactivos de paladio o por difusión a través de paladio o bien por descomposición térmica utilizando una resistencia eléctrica.

El metano se puede determinar por descomposición térmica utilizando también una resistencia eléctrica pero más elevada que para el caso del hidrógeno.

El dióxido de carbono es absorbido por soluciones acuosas de hidróxido de potasio.

El nitrógeno se determina por diferencia o por residuo inerte.*

MUESTREO.

La muestra se toma en un pequeño gasómetro cilíndrico provisto de una llave en la parte superior y una conexión en su fondo con un bulbo a nivel. El gasómetro se llena primero con agua contenida en el bulbo a nivel, después se conecta la llave con la fuente de gas, se lava la tubería de conexión y se aspira el gas dentro del gasómetro bajando el nivel del líquido. Cuando se ha conectado el gasómetro con el aparato analítico se recoge la muestra por desplazamiento del líquido.**

Cuando se toma la muestra se debe tener buen cuidado de anotar la temperatura de la chimenea. Con el análisis del gas y habiendo obtenido el por ciento de aire se puede encontrar la eficiencia térmica como señalaremos a continuación.

Los siguientes datos fueron tomados de las estufas del alto horno No. 3 de CIA. FUNDIDORA DE FIERRO Y ACERO MONTERREY.

Muestra	Tem. Chimenea	CO	CO ₂	O ₂	Aire %	Eficiencia %
1	140°C-309.6°F	0.0	1.0	19.4	92.0	88.0
2	290°C-579.6°F	0.0	0.4	20.6	98.0	77.5

* Véase Kirk, Raymond E., Enciclopedia de Tecnología Química, Ed. UTEHA, 1967, II, p. 324.

** Véase Kirk, Raymond E., *ibid* p. 331.

Muestra	Tem. Chimenea	CO	CO ₂	O ₂	Aire %	Eficiencia %
3	320°C-633.6°F	0.0	1.0	20.0	95.0	74.0
4	160°C-354.6°F	0.0	0.6	20.4	97.4	87.0
5	270°C-543.6°F	0.0	0.2	20.8	99.5	77.5
6	250°C-507.6°F	0.0	0.2	20.8	99.5	79.0
7	260°C-525.6°F	0.0	0.2	20.8	99.5	78.0
8	300°C-579.6°F	0.0	0.2	20.8	99.5	77.5

Haciendo un promedio de eficiencias se obtiene un valor de:

79.8%

Enseguida se da la ilustración el nomograma y la forma de obtener las eficiencias.

CAPITULO - IV.

CALCULO PARA UNA ESTUFA A PARTIR DE LAS NECESIDADES DEL

ALTO HORNO.

CALCULOS PARA UNA ESTUFA A PARTIR DE LAS NECESIDADES DEL HORNO.

El cálculo de una estufa está basado en un horno con las características siguientes:

El horno produce 600 toneladas de lingote en 24 horas, consumiendo mil kilogramos de coke por tonelada de lingote y 3.8 m^3 de aire por kilogramo de coke. Se trata de averiguar las dimensiones de la estufa para calentar el aire de 25° a 800°C , sabiendo que al principiar la circulación de aire los ladrillos se hallan a 1200° arriba y 300° abajo, siendo las temperaturas finales de 1150° y 150° respectivamente. Se sabe que los ladrillos tienen conductos verticales de $25 \times 25 \text{ cm}$, que la presión del viento debe superar a una atmósfera a la del ambiente, que la velocidad del aire debe ser de 1.0 m/seg. al entrar y 3.0 m/seg. al salir; con estos datos se puede hacer el cálculo para la fabricación de un termorecuperador del tipo Cowper.

a) Volúmen de aire necesario.

$$600 \text{ ton Fe/día} \times 1000 \text{ Kg. coke/ton. Fe} \times 3.8 \text{ m}^3 \text{ aire/Kg. coke} \times \text{día/24 hrs.} \\ \times \text{hr/60 min.} = \underline{1583.3 \text{ m}^3 \text{ aire/min.}}$$

Masa de aire.

$$\text{Densidad del aire} = 1.2928 \text{ Kg/m}^3$$

$$M = 1583.3 \text{ m}^3/\text{min} \times 1.2928 \text{ Kg/m}^3 = \underline{2046.89 \text{ Kg/min.}}$$

b) Cantidad de calor necesario para caldear el aire de 25° a 800°C .

$$C_p \text{ } 25^\circ\text{--}800^\circ = 0.251 \text{ cal/Kg.}$$

$$0.251 \text{ cal/Kg} \times 2046.89 \text{ Kg/min.} (800^\circ - 25^\circ) \times 60 \text{ min/hr.}$$

$$= \underline{23890305 \text{ cal/hr.}}$$

c) Superficie de caldeo.

La transmisión de calor por convección se efectúa siempre entre un cuerpo sólido y otro líquido, o bien un sólido y un gas; varía con arreglo de una ley que depende de la naturaleza de los cuerpos y la velocidad de los fluidos; de varios experimentos resulta que el coeficiente de transmisión por convección entre el aire y un sólido puede expresarse por la fórmula:

$$K = 2.8 \times 10^{-5} (2 + \sqrt{v})$$

donde v es igual a la velocidad media del fluido en cm/seg.

$$K = 2.8 \times 10^{-5} (2 + \sqrt{300 - 100}) = 4.52 \times 10^{-3} \text{ cal/m}^2\text{-seg - grad.}$$

$$4.52 \times 10^{-3} \text{ cal/m}^2\text{-seg. - grad.} \times 3600 \text{ seg/hr.} = 16.27 \text{ cal/m}^2\text{-hr - grad.}$$

$$\overline{\text{Temp. domo}} = 1175^\circ\text{C.}$$

$$\overline{\text{Temp. chimenea}} = 225^\circ\text{C.}$$

Diferencia por término medio en el domo y en la chimenea respectivamente es:

$$1175^\circ - 800^\circ = 375^\circ\text{C.}$$

$$225^\circ - 25^\circ = 200^\circ\text{C.}$$

$$\frac{375 + 200}{2} = 287.5^\circ\text{C.}$$

$$\frac{23890305 \text{ cal/hr.}}{16.27 \text{ cal/m}^2\text{-hr - grad.} \times 287.5 \text{ grad.}} = 5107.36 \text{ m}^2 \text{ (superficie de caldeo)}$$

d) Altura de la estufa.

$$v = \frac{760 \text{ mmHg} \times 1583.3 \text{ m}^3 \text{ aire} \times 1073^\circ\text{K} (800^\circ\text{C})}{1530 \text{ mmHg} \times 273^\circ\text{K}} = 2850.47 \text{ m}^3/\text{min.}$$

$$\text{Area de los conductos} = 25 \times 25 = 0.0625 \text{ m}^2$$

$$\frac{2850.47 \text{ m}^3/\text{min.}}{60 \text{ seg/min} \times 0.0625 \text{ m}^2 \times 3.0 \text{ m/seg.}} = 254 \text{ conductos.}$$

Cada metro de altura representa una superficie de caldeo por conducto.

$$4 \times 0.25 = 1 \text{ m.}$$

la altura de los ladrillos debera ser:

$$\frac{5107.36 \text{ m}^2}{254} = 20.16 \text{ m.}$$

e) Espesor de las paredes de ladrillo.

El volumen de los ladrillos ha de ser el suficiente para acumular en la estufa una cantidad tal de calor que le permita devolver 23 890 305 -- cal/hr., sin que la temperatura descienda más de 1200° a 1150°, es decir -- 50°. Según esto se requeriran:

$$\frac{23\ 890\ 305 \text{ cal.}}{0.251 \text{ cal/Kg - grad.} \times 50^\circ} = 1\ 903\ 609.96 \text{ Kg. de ladrillo refractario.}$$

$$\frac{1\ 903\ 609.96 \text{ Kg.} \times 1 \text{ con.}}{254 \text{ cond.} \quad 20.16 \text{ m.}} = 372.66 \text{ Kg/m.}$$

El peso específico del refractario es de 2.5 ton/m^3 entonces el material necesario ha de ser:

$$V = \frac{Pe}{M} \qquad V = \frac{0.37266 \text{ ton}}{2.5 \text{ ton/m}^3} = 0.149 \text{ m}^3$$

$0.149 \text{ m}^3/\text{m} \times 10^4 \text{ cm}^2/\text{m}^2 = 1490 \text{ cm}^2$ de sección alrededor de cada conducto

Sección total = sección hueca + sección maciza = $625 + 1490 = 2115 \text{ cm}^2$

Dimensión del cuadro = sección total = $\sqrt{2115 \text{ cm}^2} = 46 \text{ cm}$ de lado.

Espesor de las paredes = $\frac{1}{2} (46 - 25) = \underline{10.5 \text{ cm}}$.

f) Diametro de la estufa.

Sección ocupada por los ladrillos = sección total x número de conductos.

Sección ocupada por los ladrillos = $2115 \times 254 = 53.7 \text{ m}^2$.

Tomando la cámara de combustión igual a la sección horizontal de los conductos:

$0.0625 \text{ m}^2 \times 254 \text{ conductos} = 15.88 \text{ m}^2$

Sección total de la estufa = área de cámara de combustión + área de chimenea.

Sección total = $15.88 + 53.7 = 69.60 \text{ m}^2$.

$$A = \pi R^2$$

$$R = (75.92/3.1416) \text{ m}^2 = 4.7 \text{ m}$$

$D = 2R = 2 \times 4.7 \text{ m} = \underline{9.4 \text{ m}}$ sin contar las paredes externas.

g) Resumen.

La estufa contendrá 254 conductos de $25 \times 25 \text{ cm}$ con paredes de 10.5 cm , la altura ocupada por los ladrillos debe ser de 20.16 m , y han de añadirse 3 m encima para la bóveda y 3 m debajo.

CAPITULO - V.

CONCLUSIONES.

CONCLUSIONES.

1 Estas estufas permiten elevar la temperatura del aire que se inyecta a los hornos hasta 800° y 900°, economizando así hasta un 15 % de coke y aumentando en un 20 % la producción de fierro.

2 Si se usaran estufas de cámara de combustión interna serian mayores los beneficios porque el calor producido por la combustión del gas - seria mejor aprovechado.

3 Si en el muestreo del análisis del gas a la salida de las estufas el agua se reemplazará por una solución saturada de una sal disminuiría las probabilidades de solubilidad del gas, aunque los efectos pueden evitarse completamente si se utiliza mercurio.

CAPITULO - VI.

BIBLIOGRAFIA.

BIBLIOGRAFIA.

- 1 Anzelius, A., ZAMM 6 (1926)
- 2 Baumeister, E. B. and C. O. Bennett, A. I. CH. E. J. 4 (1958) 69.
- 3 Bowers, T. G. and J. Reintjes, C. E. P., 57 (1961) 69.
- 4 Denton, W. H. "Proceedings of the General Discussion on Heat Transfer", Inst. of Mech. Engrs. (London) 370 (1957).
- 5 Ergun, S., Anal. Chem. 23 (1951) 151.
- 6 Ergun, S., Chem. Eng. Prog. 48 (1952) 89.
- 7 Ergun, S., Ind. Eng. Chem. 45 (1953):
- 8 Furnas, C. C., U. S. Bureau of Mines Bulletin 361 (1932).
- 9 Furnas, C. C., I. E. C. 23 (1931) 105.
- 10 Gamson, B. W., G. Thodos, and O. Houger, Trans. Amer. Inst. Chem. - Engrs. 39 (1943) 1.
- 11 Gildchrist, J. D., Combustibles y Refractarios, Madrid, Ed. Alhambra, (1967).
- 12 Glaser, M. B. and G. Thodos, A. I. CH. E. J. 4 (1958) 63.
- 13 Cranell, Conrado., Química Moderna, Madrid, Librería Ed. de Bailly-Billiére e Hijos (1906).
- 14 Happel, J., Ind. Eng. Chem. 1165 (1945).
- 15 Hoffman., Metalurgia General, Alemania, Ed. McGraw-Hill (1935).
- 16 Kirk, Raymond E., Enciclopedia de Tecnología Química, Ed. UTEHA II 324 (1967).
- 17 Capin, P., Chem. Eng. Prog. 58 (1934).
- 18 Leva, M., Chem. Eng. Prog. 43 (1935).
- 19 Manning, F. S., "Heat Transfer in the Blast-Furnace Stack", U. S. - Steel Applied Research Laboratory Technical Report, Project No. 31.14-012 (1), August 28, 1961.
- 20 Nusselt, W., ZVDI 71 (1927) 85.
- 21 Stoughton, Brudley., PH. B., B. S., Metallurgy of Iron and Steel, New York and London, Ed. McGraw-Hill Book Company, Inc. (1934).
- 22 Summers, E. N., J. I. S. I. 195 (1966).
- 23 White, R. H., "Recent Advancements in Iron Production Techniques", Minnesota Section AIME, Annual Meeting, Duluth, January 1962.