

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL
DE
CIENCIAS QUIMICAS

"ESTUDIO DE LA OPERACION
DE UN HORNO CONTINUO PARA
RECALENTAMIENTO DE LINGOTES"

TESIS
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO

presenta

LEOCADIO FRANCISCO ZAPATA MUZQUIZ

MEXICO, D. F., 1955



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.

A mis queridos padres

Dr. Régulo Zapata Valdez,
Sra. Elvira Múzquiz de Zapata.

A mis queridos hermanos:

Juan Rafael
Berta
Régulo
Consuelo Nora

A la memoria de mis Abuelos.

6542

Mi profundo reconocimiento
Al maestro Ingeniero Químico
Domingo Lodigiani, por la dirección
desinteresada en este trabajo.

A la
Universidad Nacional Autónoma de México
Mi Gritud

A mis Maestros

Mi agradecimiento al
Ing. Miguel A. Campos
y a todas las personas que en
Aceros Ecatepec, S. A.,
me brindaron su gentileza y
confianza.

I N D I C E

I.—Introducción.

Objeto de la Tesis.

Datos generales. Diagrama de Flujo.

II.—Hornos Industriales. Descripción del Horno de Recalentamiento de Lingotes.

III.—Balance de Materiales.

Balance de Calor.

Eficiencia del Horno. Distribución del Calor. Generalidades sobre combustión y quemadoras. Combustión en este horno. Generalidades sobre Atmósfera en hornos industriales. Atmósfera en este horno.

IV.—Conclusiones.

V.—Bibliografía.

CAPITULO I

INTRODUCCION

El presente trabajo fué desarrollado con el objeto de comprobar prácticamente, el funcionamiento del horno de recalentamiento de lingotes, de la planta "Aceros Ecatepec S. A.", el cual fué calculado y diseñado, según la tesis Profesional "Cálculo y Diseño de un Horno Continuo para Recalentamiento de Lingotes. Escuela Nacional de Ciencias Químicas, U.N.A.M. 1951", de Domingo Lodigiani.

Para estudiar la operación del horno de recalentamiento de lingotes, se hará un balance de materiales, un balance de calor y se calculará la eficiencia. La comparación de los resultados obtenidos con los del proyecto y las condiciones de combustión y el tipo de atmósfera en este horno, nos permitirán obtener las conclusiones que corresponda.

La función del horno es elevar la temperatura de los lingotes, desde la ambiente hasta una adecuada para laminarse en caliente y convertirlos en artículos comerciales de diversa especie; dichos lingotes son producidos en el Departamento de Fundición, en donde se dispone para tal fin, de un horno eléctrico, con una capacidad de nueve toneladas de carga fundida; este horno eléctrico, utiliza como carga chatarra, (desperdicios de fierro de distintas clases) procesada de tal manera de obtener un producto (lingote), que cumpla con normas establecidas, según el uso a que se vaya a destinar.

El horno de recalentamiento de lingotes, de apariencia funcional simple, ya que su objeto radica, en elevar la temperatura únicamente, es en realidad de construcción complicada y funcionamiento delicado.

La carga es sometida a un proceso físico con ganancia de calor, pero inevitablemente suceden cambios químicos, aunque su origen no altere, por las providencias que se toman, más que en pequeña proporción la constitución de la carga misma.

En el interior del horno el calor se transmite por todas las formas de transmisión de calor; su distribución cuantitativa, no es aun posible asegurarla en un proyecto, ni determinarla tampoco en un horno ya funcionando. Ecuaciones para cada tipo de transmisión son conocidas y el conjunto de ellas ha sido expuesto por algunos autores, para aplicarlas a este tipo de hornos, pero muchas son las limitaciones que lo hacen inaplicable, para un estudio práctico.

DIAGRAMA GENERAL DE FLUJO

La serie de operaciones que se siguen en la Planta hasta obtener un producto comercial son las siguientes:

La chatarra que viene del mercado, es descargada en el patio de almacenamiento (1), en donde se selecciona; un electroimán carga con esta chatarra unas tinas (2) cilíndricas, de base cónica cortada en triángulos, a los que cierra un cordón de ixtle. Una de estas tinas es transportada por una grúa hasta sostenerla arriba del horno eléctrico (3). La bóveda del horno se desplaza y sale calor por radiación y la alta temperatura hace que se incendie el cordón de ixtle de la base de la tina colocada arriba, la que se abre y cae la carga dentro del horno; se repite la carga con otras tinas, cuantas veces sea necesario y se cierra la bóveda, se mete corriente y se inicia entonces la fundición. Si faltó carga, se abre la bóveda, cuando en el interior haya espacio para más y se carga nuevamente; se cierra la bóveda y se mete corriente, transcurre algún tiempo y la carga ya está totalmente fundida.

El "fundidor", mete una cuchara al "baño" de acero y saca una muestra, la enfría en un molde, y por fractura se ve el contenido de carbono. Según sea el tipo de acero que se desee, se subirá o bajará el carbono; si el contenido de carbono es bajo se utiliza coke para aumentarlo o mejor aún, se sumergen en el baño los electrodos por un tiempo definido. Si el contenido de carbono es alto, se agrega mineral de hierro (óxido de fierro) o con mejores resultados escoria de la que se junta en los molinos de laminación; cuando el carbono es

muy alto se puede inyectar aire. Se saca una muestra más y si la fractura ya presenta, a "ojo", el carbono deseado, se envía al laboratorio para su análisis preliminar, donde se sabrá el contenido correcto del carbono y de los otros elementos. Si están todos los elementos dentro de las especificaciones, se procede a descargar; si es necesario corregir algún elemento se procede con los métodos propios hasta tener lista la carga. Con la cuchara nuevamente se saca acero y se derrama para ver su viscosidad y darse una idea de la temperatura de la carga; si la temperatura se supone correcta, se descarga en tinas (4) de paredes refractarias, previamente calentadas. Con un pirómetro óptico se ve la temperatura del acero y se ordena el tiempo en que hay que llenar las lingoteras, las cuales están colocadas en forma de "estrella" (5), unidas por conductos refractarios a un tubo central también refractario. La grúa transporta la tina hasta la estrella y se abre el orificio que tiene la base de la tina para la salida del acero. El llenado se hace a partir del centro simultáneamente para todas las lingoteras por el principio de vasos comunicantes; cuando pasan algunos minutos los lingotes son sacados de los moldes y transportados al almacén de lingotes (6), de donde se pasan al horno de recalentamiento de lingotes (7), para estar en condiciones de pasar por los molinos de laminación (8), hasta convertirlos en artículos que van al comercio.

ACEN DE CHATARRA

ELECTROIMAN

2.—TINAS DE CARGA

3.—HORNO ELECTRICO

4.—TINA DE DESCARGA

8.—LAMINACION

7.—HORNO DE RECALENTAMIENTO DE LINGOTES

ESCU
DE C
U
DIAGR
LECA

CAPITULO II

"HORNOS INDUSTRIALES"

Como "Hornos Industriales", han llamado Trinks y otros autores, a aquel tipo de hornos, en el cual "el calor impartido se aprovecha únicamente para elevar la temperatura de la carga, sin provocar cambios químicos apreciables ni cambios de estado".

En el caso especial del "Horno de Recalentamiento de Lingotes" en estudio, se trata de un horno industrial, porque en él se calienta la carga (lingote) hasta la temperatura deseada, sin llegar a fundir, aunque se efectúen ciertos cambios químicos inevitables, en la superficie del lingote.

Estos hornos pueden clasificarse de varias formas, atendiendo un aspecto que sea común a todos; de esta manera se les puede agrupar, según el origen del calor proporcionado o de la forma de manejar el material en el interior.

Según la forma de producir el calor tenemos Hornos donde:

- 1.—El calor es producido por la combustión de un combustible (petróleo, gas, carbón, etc.)
- 2.—El calor es producido por la conversión, de la energía eléctrica en calor.

Según la forma de manejar el material tenemos Hornos:

1.—Intermitentes.

2.—Continuos.

Dentro de una sola clasificación no encontraremos suficiente indicadas las características de un horno, por tal motivo se hace referencia a otros aspectos; además del origen del calor y del tipo de operación se indica la clase de combustible, (en caso de usarse), la forma de introducir el material, el tipo de quemadores, el tipo de atmósfera, de la utilización o no del calor no aprovechado directamente por la carga (recuperadores, regeneradores, zona de precalentamiento), etc.

DESCRIPCION DEL HORNO DE RECALENTAMIENTO DE LINGOTES

El horno es una cámara de combustión, de piso y paredes refractarias, coronadas por una bóveda también refractaria. Para la entrada del material tiene una puerta que abarca todo el ancho, enfrente de la cual están los quemadores; de esta manera visto, tiene en las paredes laterales que son las de mayor longitud una serie de puertas de observación con tapas refractarias; en una de las paredes laterales (izquierda) tiene una puerta pequeña para la salida de material; frente a esta puerta, en la pared derecha tiene otra puerta por la que penetra un brazo que empuja los lingotes fuera del horno.

Interior

El interior tiene dos secciones, una, la primera llamada zona de precalentamiento y calentamiento y la segunda, zona donde el material homogeniza su temperatura y la eleva al máximo (Zona de Zoaking).

Las dimensiones son las siguientes:

Longitud zona de pre y calentamiento	27.5	ft.
„ „ „ homogenización de temperatura	11.5	„
„ Total	39	„
Ancho	12	„
Altura interior máxima (zona de Homogenización de Temperatura)	3.75	„
Altura interior mínima (salida de gases)	2.25	„

En la zona de precalentamiento y calentamiento tiene cuatro tubos de acero reforzado, para altas temperaturas, sentados sobre soportes refractarios y cubiertos hasta la mitad; estos tubos que corren longitudinalmente, sostienen la carga, van al nivel del piso de la zona de homogenización de temperatura, llegan hasta ésta; cruzando por debajo de los anteriores van otros tres tubos, que les sirven de sosten.

Manejo de la Carga

Los lingotes se colocan en una plataforma inclinada de donde caen a un transportador de rodillos, que los lleva hasta la puerta del horno en donde son colocados de dos en dos, para entrar al horno con la base hacia las paredes laterales; son introducidos por un sistema de empujadores mecánicos, que empujan un lingote cuando ha salido otro; la descarga la realiza un brazo empujador, que toca y empuja los lingotes por la base, fuera del horno.

Fuente de Calor

Usa actualmente como fuente de calor la combustión de gas natural, el que llega a la planta por tubería directamente; tiene instalados quemadores que permiten trabajar tanto por aceite combustible como gas natural; para el aceite combustible tiene un sistema especial de alimentación, que bombea éste de un tanque de almacenamiento a un calentador y a los quemadores; estos son 12 en total, sobre la parte frontal superior al finel de la zona de homogenización de temperatura, hay 3 grandes de llama larga y 6 pequeños de llama larga también; abajo del piso de esta misma zona de homogenización hay 3 grandes de llama larga, que salen por debajo de la carga.

Transmisión de calor

La flama y los gases de combustión calientan directamente la carga; ésta también recibe calor por radiación de las paredes. Se ha construido el horno con la zona de precalenta-

miento, para que los gases de combustión dejen una mayor cantidad de calor. En la zona de calentamiento es donde se transmite la mayor cantidad de calor y en la de zooking se uniformiza la temperatura de la carga y se eleva al máximo.

Descarga de Gases

La descarga de gases se realiza por el efecto del tiro de una chimenea de 80 pies de altura y 5 de diámetro; a esta chimenea llegan los gases por un ducto que principia bajo el nivel del piso del horno en el lado de entrada de la carga, o sea enfrente de los quemadores; en ese ducto está colocada una compuerta reguladora, de mecanismo automático, que controla la presión dentro del horno.

Agua de Enfriamiento

Los tubos que están en el interior del horno, van enfriados por agua recirculada por un sistema de bombeo; sale caliente del horno y va a enfriarse al aire por medio de espreas, de donde cae a los tanques de depósito, para bombearse nuevamente al horno.

Control

Toda la instrumentación de control está colocada en un tablero en donde están los instrumentos indicadores y registradores del flujo de combustible y aire, de la presión y de la temperatura.

El flujo se registra en las líneas de gas y aire de los dos tipos de quemadores, estando instalado en cada una un medidor de orificio.

La pérdida de presión causada por el medidor de orificio, en la línea de gas de los quemadores pequeños, es registrada en el tablero por un manómetro diferencial con escala graduada, que utiliza aceite rojo de densidad igual a 0.827, como líquido manométrico. Otro manómetro registra igualmente la pérdida de presión del orificio insertado en la línea de aire.

Para el gasto de los quemadores grandes, se tiene dos indicadores de la relación aire-gas, uno para la zona inferior y otro para la zona superior, que dan la lectura del gasto en $\text{ft}^3/\text{tiempo}$.

Los indicadores están formados por un tubo circular, con una división interna, con tomas de presión a uno y otro lado del orificio de la línea de gas, y con líquido manométrico en el tubo circular, que separa las dos tomas. La pluma del indicador, para la relación aire-gas, está acoplada de tal manera que las diferencias de presión la están moviendo gradualmente; igualmente se está moviendo el contador, que está funcionando mientras haya paso de gas, dando la lectura del gasto de gas.

La temperatura es captada por un pirómetro de radiación colocado en la zona de temperatura más alta, enfrente de los lingotes. La fuerza electromotriz es transmitida por el termopar del pirómetro a un potenciómetro electrónico que la amplía. Una aguja de una escala y una pluma están conectadas al potenciómetro, registrando e indicando la temperatura. El potenciómetro actúa un motor de válvula solenoide que mueve las palancas del combustible y aire.

La presión interior del horno, es transmitida a un diafragma que impulsa un tubo móvil, que a su vez dirige aceite a alta presión que mueve el pistón de un servo motor. Un sistema de poleas abre o cierra la compuerta del ducto de gases de combustión, que va a la chimenea, de acuerdo con los movimientos del pistón.

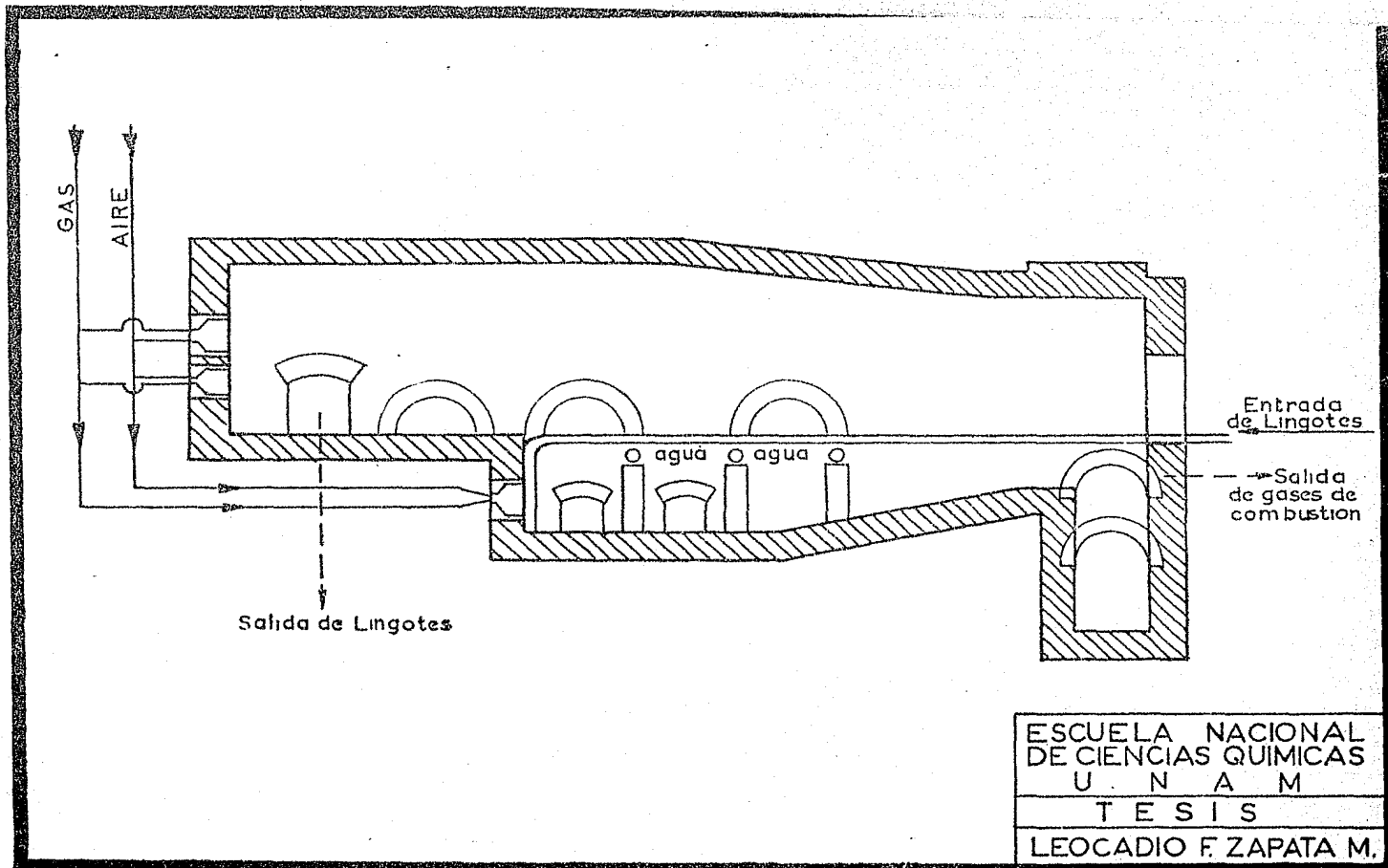
Operación.

La operación mecánica es continua durante un turno de trabajo constante.

El horno de lingotes está condicionado a las demandas de "laminación", si los molinos trabajan a toda su capacidad el horno puede surtirlos de lingotes calientes, pero en un turno de trabajo hay muchas variaciones en la demanda de

fierro caliente; se trabaja en laminación a una capacidad media y el horno por consiguiente en iguales condiciones, pero cuando hay desperfectos en los molinos y "laminación" tiene que suspender su trabajo, no se necesitan lingotes calientes y entonces el horno debe variar su operación, disminuyendo la producción de calor, la que debe sujetarse por medio de una temperatura máxima para no dañar la carga; cuando se piden más lingotes se aumenta el calor si es necesario.

En todo caso de operación deben estar previamente encendidos los quemadores con la relación aire-gas deseada. Dada la forma de operar llega un momento en que es necesario disminuir la cantidad de calor, lo que realiza el operario (Hornero), disminuyendo el gasto de gas; esto trae como consecuencia condiciones variables en la combustión.



BALANCE DE MATERIALES

CAPITULO III

BALANCE DE MATERIALES

Este balance de materiales corresponde a un tiempo de operación de ocho horas o sea un turno completo de trabajo.

En el esquema adjunto vemos las diversas corrientes de materiales que entran y salen del horno; cumpliendo con la Ley de Conservación de la Materia, tenemos:

En peso

Entra = Sale + Acumulación.

La Acumulación = 0

(en este caso)

1º—Gas Combustible.	5º—Gases de Combustión.
2º—Aire + Agua (humedad)	6º—Acero (Lingotes).
3º—Acero (Lingotes).	7º—Agua de Enfriamiento.
4º—Agua de Enfriamiento.	

Se calcularán las cantidades de cada uno de esos materiales en lb/hr., de la siguiente manera:

Materiales que Entran.

1º—Gasto de Gas Combustible.—Para encontrar el gasto de gas, se suman los gastos de los quemadores grandes y pequeños.—La línea de los quemadores grandes está registrando su flujo en el indicador; se tomará una lectura al comenzar

la prueba y otra al finalizarla y la diferencia entre estas dos lecturas multiplicada por la constante del indicador, será el gasto en pies cúbicos, en ocho horas. Las diferentes lecturas manométricas del medidor de orificio que está insertado en la línea de los quemadores pequeños, se tomarán para aplicarse a la fórmula de medidor de orificio, y los resultados se sumarán según el tiempo que se mantenga cada lectura, para obtener el gasto en esos quemadores. El gasto total en pies cúbicos, por la densidad en lb/ft^3 , dará el gasto en masa en ocho horas.

2º—**Gasto de Aire.**—El gasto de aire se determinará de acuerdo con el gasto de combustible y los análisis de los gases de combustión. De aquí que el gasto de aire lo determinaremos hasta que se calcule el análisis y la cantidad de gases de combustión en el punto 5º.

3º—**Peso del Acero (Lingotes).**—Para conocer el peso del acero es suficiente contar el número de lingotes que entran, y multiplicarlo por el peso de un lingote.

El número de lingotes que entra es igual al que sale.

4º—**Peso del Agua de Enfriamiento.**—La cantidad de agua de enfriamiento que entra es igual a la que sale y se puede medir de la siguiente manera:

El agua de retorno de los hornos eléctrico y de recalentamiento de lingotes, llega a una fosa de asentamiento, en la casa de bombas, de donde se bombea a las espreas; si se para la bomba que surte al horno eléctrico (sólo cuando el horno eléctrico no esté trabajando), el agua que llega a la fosa es sólo la proveniente del horno de recalentamiento de lingotes; parando la bomba que manda el agua a las espreas, el agua de retorno del horno de recalentamiento se acumula en la fosa de asentamiento y se puede medir, colocando dos marcas a una distancia determinada entre ellas y en sentido vertical y midiendo el tiempo que el agua tarde en alcanzar la marca superior. Conociendo la sección de la fosa de asenta-

miento es fácil conocer el volumen de agua recirculado y por lo tanto el gasto en masa.

Materiales que Salen.

5°—**Gases de Combustión.**—Los gases de combustión que son los productos de combustión del gas combustible, mezclados con un exceso de aire, se calculan en cantidad, de acuerdo con sus análisis, que se efectuarán por medio de un aparato Orsat y según el gasto de gas combustible.

6°—**Acero.**—Los lingotes al salir del horno, aumentan ligeramente su peso por la formación de escoria, pero ésta no es posible pesarla y se tomará únicamente el peso del acero, que es igual al que entra como antes se había dicho.

7°—**Agua de enfriamiento.**—El agua de enfriamiento no sale de sus tubos y por esta razón se dijo que permanecía constante al pasar por el horno, o sea la que sale es igual a la que entra.

I.—GASTO DE GAS

En el tablero de control se ha dicho que el gasto de gas se registra para los quemadores grandes por medio de un indicador y para los quemadores pequeños por un manómetro diferencial con escala graduada; el gasto total será la suma de los gastos registrados para cada tipo de quemadores.

Quemadores Pequeños.

La lectura manométrica indicó una diferencia de 0.3 pulgada de aceite rojo de densidad igual a 0.827 durante 5 horas, hasta que el operador (hornero), bajó el gasto en los quemadores pequeños únicamente, para disminuir el calor suministrado y mantener una temperatura alrededor de 2200° F. La lectura al disminuir el gasto fué entonces de 0.2 pulgadas de aceite, durante tres horas. El gasto total será para estos quemadores igual a la suma de los dos valores que se obtengan con las dos lecturas manométricas.

La diferencia o lectura manométrica es la pérdida en presión causada al pasar el gas por un medidor de orificio cuya constante "C" es igual a 0.61 y la fórmula que se usará es:

$$V = c\sqrt{2g H}$$

Este medidor de orificio tiene un diámetro interior de 2.126 pulgadas y está insertado en una línea de 6 pulgadas estandard.

Cálculo con la lectura manométrica de 0.3 in de aceite de densidad 0.827.

$$V_o = c\sqrt{2g H_2} \quad \text{Velocidad en el orificio.}$$

$$0.3 \times 0.827 = 0.2481 \text{ in } H_2O;$$

$$P = 0.0534 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{gas combustible}$$

$$H_2 = \frac{0.2481 \text{ in}}{12 \text{ in/ft}} \times \frac{62.3 \text{ lb/ft}^3}{0.0534 \text{ lb/ft}^3}$$

$$H_2 = 24.1 \text{ ft.}$$

$$C = 0.61.$$

$$2g = 64.3 \text{ ft/seg. seg.}$$

$$V_o = .61\sqrt{64.3 \times 24.1}$$

$$V_o = 39.3 \text{ ft/seg.}$$

De la fórmula.

$$V_o = \frac{q}{A_o}$$

$D_o = 2.126 \text{ in}$ diámetro del orificio.

$$A_o = \frac{\pi}{4} D_o^2$$

$$A_o = 0.785 \times \frac{2.126^2}{12}$$

$$q = V_o A_o$$

$$A_o = 0.0238 \text{ ft}^2$$

$$q = 39.3 \times 0.0238$$

$$q = 0.935 \text{ ft}^3/\text{seg.}$$

$$q = 0.935 \times 3600 = 3366 \text{ ft}^3/\text{hr.}$$

(Este gasto se mantuvo durante 5 horas).

Cálculo con la lectura de 0.2 in de Aceite rojo de densidad 0.827:

$$V_o = C\sqrt{2g H_2}$$

$$.2 \times 0.827 = 0.1654$$

$$H_2 = \frac{0.1654}{12} \times \frac{62.3}{0.0534} = 16$$

$$V_o = 0.61 \sqrt{64.3 \times 16}$$

$$V_o = 19.56$$

$$V_o = \frac{q}{A_o}$$

$$q = V_o A_o$$

$$q = 19.56 \times 0.0238 = 0.4656 \text{ ft}^3/\text{seg.}$$

$$q = 0.4656 \times 3600 = 1676 \text{ ft}^3/\text{hr.}$$

(Gasto mantenido durante 3 horas).

Gasto de gas en los Quemadores Grandes.

Los quemadores grandes están repartidos en dos zonas; 3 en la zona superior y 3 en la inferior. Para cada zona hay un indicador, por lo cual el gasto total, se obtiene sumando los gastos de las 2 zonas.

Zona superior

1a. Lectura	70634
2a. Lectura	70751

117

Zona inferior

1a. Lectura	88603
2a. Lectura	88867

264

La constante del Indicador es 100.

= Gasto en Pies =

$$q = (117 + 264) 100 = 38100 \text{ ft}^3 \text{ en 8 horas.}$$

$$q = 4762.5 \text{ ft}^3/\text{hr.}$$

Gasto Total en el Horno.

En 5 horas

(Lectura 0.3 in de Aceite)

$$3366 \times 5 = 16830 \text{ quemadores pequeños.}$$

$$4762.5 \times 5 = 23,812.5 \text{ quemadores grandes.}$$

En 3 horas

(Lectura 0.2 in de Aceite)

$$1676 \times 3 = 5,028 \text{ quemadores pequeños.}$$

quemadores grandes

$$4262.5 \times 3 = \frac{13,287.5}{59,958.0} \text{ ft}^3 \text{ en 8 horas.}$$

—Promedio por hora.

$$\frac{59,958}{8} = 7,494.75 \text{ ft}^3/\text{hr.}$$

Gasto en Masa.

$$7,494.75 \times 0.0534 = 400.21 \text{ lb/hr.}$$

Gasto por hora, separado en las primeras 5 horas.

$$\begin{array}{r} 3366 \\ 4762.5 \\ \hline 8128.5 \text{ ft}^3/\text{hr.} \end{array}$$

En las últimas 3 hs.

$$\begin{array}{r} 1676.0 \\ 4762.5 \\ \hline 6438.5 \text{ ft}^3/\text{hr.} \end{array}$$

3°—PESO EN LIBRAS DEL ACERO QUE ENTRO AL HORNO.

Durante las 8 horas de trabajo, entraron al Horno 215 lingotes de 330 lb. cada uno, o sea un total de 70,950 lb. de Acero.

$\frac{70,950}{8} = 8,868.75$ lb/hr. de Acero entró, igual a la cantidad que sale.

4º—GASTO DE AGUA DE ENFRIAMIENTO.

El gasto de agua fué medido en la forma ya explicada; se hicieron 2 marcas en la Fosa de asentamiento en sentido vertical a una distancia entre ellas de 0.656 ft. Las dimensiones de la sección de la fosa son 11.972 ft. y 9.676, por tanto el volumen medido fué:

$$11.972 \times 9.676 \times 0.656 = 76.0 \text{ ft}^3$$

El tiempo que tardó el agua en ocupar este volumen fué de 75 segundos, ó sea:

$$\frac{76.0}{75} \times 3600 = 3650 \text{ ft}^3/\text{hr.}$$

$$q = 3650 \text{ ft}^3/\text{hr} \times 62.3 \text{ lb}/\text{ft}^3 = 226,304 \text{ lb}/\text{hr.}$$

5º—CANTIDAD EN LIBRAS DE GASES DE COMBUSTION

Al trabajar el horno con un gasto de gas combustible constante en los quemadores pequeños durante 5 horas y con otro gasto en los mismos quemadores durante 3 horas, permaneciendo en ambos casos constante el gasto en los quemadores grandes, se hicieron dos series de análisis de gases de combustión y se anotó el análisis promedio de cada una; de estos análisis por separado para cada gasto se sacará la cantidad de gases de combustión en 5 y 3 horas respectivamente y se sumarán para obtener el peso en libras durante 8 horas y el promedio por hora.

GASES DE COMBUSTION EN LAS 5 PRIMERAS HORAS

Lectura Manométrica 0.03 in de Aceite.

Análisis por el Aparato Orsat.

Base 100 mols.

Componentes	Mols %	Atomos de C.	Mols de O ₂
C O ₂	10.9	10.9	10.9
O ₂	2.4		2.4
N ₂	86.7		
Total	100	10.9	13.3

$$\begin{array}{r}
 (21) \\
 86.7 \frac{\dots\dots\dots}{79} \dots\dots\dots \frac{22.98 \text{ O}_2 \text{ del Aire}}{9.68 \text{ O}_2 \text{ desaparece.}}
 \end{array}$$

H₂ quemado a H₂O : $9.68 \times 2 = 19.36$ mols. = mols H₂O

Oxígeno necesario para la combustión.

$$10.9 + 9.68 = 20.58$$

Exceso de Aire.

$$100 \times \frac{\text{total—necesario}}{\text{necesario}} = \frac{22.98—20.58}{20.50} \times 100$$

11.6%

$$\text{Exceso de Aire} = \frac{11.6}{100} \times 100$$

$$\text{H/C} = \frac{19.36 \times 2}{10.9 \times 12} = 0.294$$

GASES DE COMBUSTION EN MOLS/hr.

Fórmula

Gasto de combustible en las primeras 5 horas.

Se obtienen los mols/hr. de gases de combustión, encontrando los mols. de éstos por libra de combustible y multiplicando por el gasto de gas en lb/hr.

$$q = 8128.5 \text{ ft}^3/\text{hr.}$$

$$\rho = 0.0534$$

gas combustible.

Gasto en libras.

$$q = 8,128.5 \times 0.0534 = 434.06 \text{ lb/hr.}$$

De acuerdo con la tabla de Análisis, 119.36 mols. de gases de combustión contienen:

$$10.9 \times 12 = 130.8 \text{ lb. de C.}$$

$$19.36 \times 2 = \frac{38.72 \text{ lb. de H}_2}{169.52 \text{ lb. de combustible.}}$$

$$\frac{119.36}{169.52} = 0.705 \frac{\text{mols de gases de combustión}}{\text{lb. de combustible}}$$

$$434.06 \times 0.705 = 306.01 \frac{\text{mols de gases de combustión}}{\text{hr}} \quad (\text{húmedos})$$

Libras/hr. de Cada Componente.

Por la tabla de análisis.

119.36 mols de gases de combustión contienen.

mols		peso/mol		
10.9	×	44	=	482.6 lb. CO ₂
2.4	×	32	=	76.8 lb. O ₂
86.7	×	28	=	2427.6 lb. N ₂
19.36	×	18	=	348.48 lb. H ₂ O

306.01 contendrán.

$$\begin{array}{r} 306.01 \\ \hline = 2.56 \\ 119.36 \end{array}$$

lb.

2.56	×	482.6	=	1,235.45 CO ₂
2.56	×	76.4	=	195.58 O ₂
2.56	×	2427.6	=	6,214.65 N ₂
2.56	×	348.48	=	892.10 H ₂ O

8,537.78 lb/hr. de Productos de Combustión durante las primeras 5 horas.

GASES DE COMBUSTION EN LAS ULTIMAS 3 HORAS

Lectura manométrica 0.02 in de Aceite

Componente	Mols %	Atomos de C	Mols de O.
CO ₂	9.4	9.4	9.4
O ₂	5.2		5.2
N ₂	85.4		

TOTAL 100. 9.4 14.6

21 22.63 del Aire.
 85.4 (—)
 79 8.03 desapare

$$\text{H}_2 \text{ quemado a H}_2\text{O} : 8.03 \times 2 = 16.06 \text{ mols} = \text{mols H}_2\text{O}$$

Oxígeno necesario para la combustión.

$$9.4 + 8.03 = 17.43$$

Exceso de Aire.

$$100 \times \frac{\text{total-necesario}}{\text{necesario}} = \frac{22.63-17.43}{17.43} \times 100$$

$$\text{Exceso de Aire} = 29.8\%$$

$$\text{H/C} = \frac{16.06 \times 2}{9.4 \times 12} = 0.351$$

Gases de Combustión en mols/hr.

Gasto de combustible por hora en las últimas tres horas.

$$q = 6438.5 \text{ ft}^3/\text{hr}$$

$$\rho = 0.0534 \text{ lb/ft}^3$$

Gasto en libras/hr

$$q = 343.81$$

De acuerdo con la tabla de análisis 116.58 mols de gases de combustión contienen:

$$9.4 \times 12 = 112.8 \text{ lb C}$$

$$16.06 \times 2 = \underline{32.12} \quad \text{H}_2$$

$$144.92 \quad \text{lb de combustible.}$$

$$\frac{116.06}{144.92} = 0.800 \text{ mols de gases de combustión}$$

$$\frac{\quad}{\quad} = \text{lb de combustible}$$

$$343.81 \times 0.800 = 275.04 \text{ mols de gases de combustión}$$

hr

(húmedos).

Libras /hr de cada componente.

Por la Tabla de Análisis.

116.58 mols de gases de combustión contienen:

Mols.		Peso/mol	
9.4	×	44	= 413.6 lb. CO ₂
5.2	×	32	= 166.4 lb. O ₂
85.4	×	28	= 2394.0 lb. N ₂
16.06	×	18	= 297.0 lb. H ₂ O

275.04 contendrán.

$$\frac{275.04}{116.06} = 2.37$$

$$\begin{aligned} 2.37 \times 413.6 &= 980.23 \text{ CO}_2 \\ 2.37 \times 166.4 &= 394.37 \text{ O}_2 \\ 2.37 \times 2394.0 &= 5673.78 \text{ N}_2 \\ 2.37 \times 289.08 &= 695.12 \text{ H}_2\text{O} \end{aligned}$$

7743.50 lb/hr de Productos de Combustión

durante las últimas 3 horas.

Total en 8 horas de trabajo

$$8,537.78 \times 5 = 42,688.9$$

$$7,434.47 \times 3 = 23,230.5$$

65,919.4 lb. de gases de combustión en 8 horas.

Promedio por hora

$$8,239.92 \text{ lb/hr}$$

Total en 8 horas y promedio por hora de cada componente.

CO ₂	9,117.94 lb. en 8 horas	CO ₂	1139.74 lb/hr
O ₂	2,161.01 " " " "	O ₂	270.13 "
N ₂	48,094.59 " " " "	N ₂	6011.82 "
H ₂ O	6,545.86 " " " "	H ₂ O	818.23 "
	<u>65,919.40</u>		<u>8239.92</u>

GASTO DE AIRE

En los gases de combustión, se encuentran los productos de la combustión del gas combustible y un exceso de aire; por diferencia entre el gasto de gas combustible en libras y el promedio de los gases en libras, se obtiene el gasto de aire.

8 239.92 lb. de gases de combustión por hora.

— 400.21 lb. de gas combustible por hora.

7 839.71 lb. de aire por hora (seco)

Peso en libras del agua que entra con el aire.

La cantidad de agua que acompaña al aire en libras, se conoce multiplicando el gasto de aire por su humedad. En la fábrica la humedad del aire correspondió a 0.01 lb. H₂O/lb. aire seco.

$$0.01 \times 7,839.71 = 78.39 \text{ lb/hr de agua.}$$

Libras de Aire Húmedo.

$$\begin{array}{r} 7,839.71 \\ + \quad 78.39 \\ \hline \end{array}$$

7,918.10 lb/hr de aire húmedo.

Mols de Materiales Gaseosos

— Mols de gas combustible. Densidad relativa
.66 \times 29 = 19.14 peso/mol del combustible 0.66

$$\frac{400.21 \text{ lb/hr}}{19.14 \text{ peso/mol}} = 20.9 \text{ mols/hr}$$

— Mols de Aire seco.
 $\frac{7839.71}{29} = 270.33 \text{ mols/hr.}$

— Mols de agua que entra con el Aire.
 $\frac{78.39}{18} = 4.35 \text{ mols/hr.}$

— Mols de N₂ en los Gases de Combustión.
 $\frac{6011.82}{28} = 214.7 \text{ mols/hr.}$

— Mols de O₂ en los Gases de Combustión.
 $\frac{270.13}{32} = 8.44 \text{ mols/hr.}$

— Mols de H₂O en los Gases de Combustión.
 $\frac{896.62}{18} = 49.81 \text{ mols/hr.}$

— Mols de CO₂ en los Gases de Combustión.
 $\frac{1139.74}{44} = 25.90 \text{ mols/hr.}$

CUADRO DE RESULTADOS FINALES DEL
BALANCE DE MATERIALES

ENTRA	lb/hr
GAS COMBUSTIBLE	400.21
Aire Seco	7,839.71
Agua con el Aire	78.39
Acero	8,868.75
Agua del Enfriamiento	226,304.00
T O T A L :	243,491.06
SALE	
CO ₂ en gases de combustión	1,139.74
O ₂ " " " "	270.13
N ₂ " " " "	6,011.82
H ₂ O " " " "	896.62
Acero	8,868.75
Agua de Enfriamiento	226,304.00
T O T A L :	243,491.06

BALANCE DE CALOR

Para hacer el balance de calor en el horno de lingotes, se cuenta con los datos del balance de materiales, así como las temperaturas de entrada y salida de estos, el poder calorífico del gas combustible y las capacidades caloríficas.

El calor que entra al horno es el producido por la combustión del gas combustible, más el calor sensible que entra con el mismo gas, con el aire, el agua de enfriamiento y el acero. Sale calor del horno con los gases de combustión, con el acero caliente, agua de enfriamiento y pérdidas de otros conceptos.

El combustible, el aire y el acero entran a una temperatura de 68°F y el agua de enfriamiento entra a los tubos a una temperatura de 84.2°F . Los gases de combustión salen a 932°F ; el acero caliente sale 2200°F y el agua de enfriamiento sale a 88.7°F .

La temperatura de los gases se midió por medio de un pirómetro hecho de un termopar conectado a un milivólmetro. Este pirómetro fué acondicionado en el laboratorio, ya que se carecía de un medidor manual para altas temperaturas. Un termopar Cromo-Níquel, fué conectado a un milivólmetro e introducido en un horno de laboratorio, en la zona donde se encuentra el termopar de ese horno; se fué aumentando la temperatura del horno de laboratorio y tomándose lecturas en el milivólmetro cada 25°F ó 50°F , con lo que se construyó una gráfica volts, contra temperatura. Esta gráfica fué con-

sultada teniendo como dato la lectura del milivólmetro y se obtuvo una temperatura de 932°F.

La temperatura del agua de enfriamiento fué medida en la casa de bombas al entrar a la tubería del horno de recalentamiento de lingotes y la salida del agua en la desembocadura de los tubos de enfriamiento.

La temperatura de los lingotes, captada por el pirómetro de radiación, se observó en el tablero de control.

En este balance los cambios de entalpia de los materiales que entran y salen representan la transmisión de calor, ya que las energías cinética y potencial, que completan la ecuación general de la energía, se consideran prácticamente constantes.

$$Q = \sum m H_2 - \sum m H_1$$

será la ecuación que nos rija el presente balance.

En la tabla siguiente, que es el balance de materiales, se han indicado las temperaturas a que entran o salen esos materiales. Las capacidades caloríficas y las entalpías están tomadas con respecto a una temperatura base de 60 F y anotadas en otra tabla.

Con las entalpías correspondientes a cada material por las moles o el peso en libras, según la forma como se obtengan esas entalpías, se obtiene el calor que cada una de esas corrientes de materiales, meta o saque del horno.

ENTRA	lb/hr
a 68°F	
Gas Combustible	400.21
Aire Seco	7,839.71
Agua con el Aire	78.39
Acero	8,868.75
a 84.2°F	
Agua de Enfriamiento	243,491.06
T O T A L :	243,491.06
SALE	
a 932°F	
CO ₂ en gases de combustión	1,139.74
O ₂ " " " "	270.13
N ₂ " " " "	6,011.82
H ₂ O " " " "	896.62
a 2200°F	
Acero	8,868.75
a 88.7°F	
Agua de Enfriamiento	226,304.00
T O T A L :	243,491.06

CAPACIDADES CALORIFICAS Y ENTALPIAS

Temperatura base 60°F.

	68°F			932°F	
	60°F	68°F	Mcp (68-60)]	60°F 932	[Mcp(932.60)]
	Mcp		H Btu/mol	Mcp	H Btu/mol
O ₂		7.03	56.24	7.5	6540
N ₂		7.03	56.24	7.4	6452
H ₂ O (vapor)		8.05	64.40	8.5	7412
Combustible		8.6	68.8	11.7	10202.4
CO ₂				10	8720

	H Btu/lb			
	68.F	84.2°F	88.7°F	2200°F
Agua	—	52.21	56.7	—
Acero	10	—	—	360

Poder calorífico de combustible: 1062.18 Btu/ft³
 (Gasto de Gas 7,494.75 ft³/hr).

BASE 1 hr y 60°F

ENTRA			BTU
O ₂ en el aire	(0.21)	(270.13) (56.24)	3,190.34
N ₂ " " "	(0.79)	(270.13) (56.24)	12,002.76
H ₂ O " " "		(4.35) (64.4)	280.14
Acero		(8868.75) (10)	88,687.50
Gas Combustible		(20.9) (68.8)	1,437.92
Agua de Enfriamiento	(226,304)	(52.21)	11,804,331.84
Calor de Combust. del Gas	(7494.75)	(1062.18)	7,958,865.60
T O T A L :			19,868,796.1
SALE			
CO ₂ en gases de combustión	(25.9)	(8720)	225,848
O ₂ " " " "	(8.44)	(6540)	55,197.6
N ₂ " " " "	(214.7)	(6432)	1,385,244.4
H ₂ O " " " "	(49.81)	(7412)	369,191.7
Acero		(8868.75) (360)	3,192,750.00
Agua de Enfriamiento	(226.304)	(56.21)	12,831,436.00
Total que sale en materiales			18,069,667.72
Pérdidas (Radiación)			1,799,128.38
T O T A L :			19,868,796.1

**CUADRO DE DISTRIBUCION ACTUAL DE CALOR Y
LA DISTRIBUCION DEL PROYECTO**

		Condiciones	
		Actuales	Proyecto
1º	Calor que se lleva la Carga	39.0%	35.5%
2º	” ” ” ” el agua de enfriamiento	12.8%	26.7%
3º	” ” ” ” los gases de combustión	25.5%	26.4%
4º	” ” ” ” pierde otras causas.	22.7%	11.4%

EFICIENCIA

La eficiencia de un horno, no solamente es consecuencia del diseño, sino también de la operación y de la manera de uniformar el calentamiento. La eficiencia se da en función de la rapidez de calentamiento (Trinks y Mawhinney), o como eficiencia térmica.

Estas formas de considerar la eficiencia son aún incompletas, (pues tomando la rapidez de calentamiento dada en $\text{lb ft}^2/\text{hr}$, se hace referencia sólo a unos aspectos que interesan y menos la eficiencia térmica, que es la eficiencia de combustible, aún más escasa de datos) y no cumplen con el sentido verdadero del concepto "Economía y Eficiencia" en hornos industriales, que se refiere al "costo de calentamiento por peso final trabajado", incluyendo en el costo de calentamiento, no solamente el del combustible, sino también el de amortización de aparatos, reparaciones y atención.

La causa por la cual no se calcula comúnmente el costo de calentamiento en la forma anterior, es por la dificultad que entraña el conseguir los datos y se concreta el problema a la eficiencia térmica y que será la que aquí calcularemos.

La eficiencia de los hornos industriales es sumamente baja, hasta 5% en algunos casos, comúnmente es alrededor de 30% y en algunos casos excepcionales de excelente diseño y cuidadosa operación se ha llegado hasta 60%. En Calderas se puede llegar hasta una eficiencia de 60% a 90%.

Una razón para la diferencia tan marcada entre hornos y calderas (Trinks vol. I pág. 86), es la temperatura final a la

que se lleva la carga en aquellos; los gases sólo pueden transmitir una cantidad de calor apreciable, si la diferencia de temperatura entre ellos y la carga es grande y como ésta sale a una temperatura relativamente cercana a la inicial de los gases, sólo al principio habrá una notable transmisión de calor, por consiguiente, si el horno no aprovecha el calor inútil en recuperadores o en regeneradores, o como en el caso presente en precalentar la carga, el gasto de combustible es excesivo.

El dato que nos representa la eficiencia, es el que corresponde al por ciento de calor tomado por la carga y que ya ha sido agregado en el cuadro de distribución de calor.

$$\frac{\text{Calor que se lleva la carga}}{\text{Calor que produce el gas al quemarse.}} \times 100$$

$$\frac{3.104,062.5}{7.958,865.6} \times 100 = 39\%$$

Eficiencia

Este valor es un promedio de la eficiencia durante un turno de trabajo, no representa la eficiencia máxima puesto que las condiciones de operación no fueron constantes. En pruebas parciales donde se ha tomado en cuenta un tiempo constante de producción en laminación la eficiencia aumenta considerablemente, ya que el horno no gasta calor intermitentemente.

GENERALIDADES SOBRE COMBUSTION Y QUEMADORES

La combustión en "Hornos Industriales" a altas temperaturas, es sumamente rápida, obteniéndose invariablemente como productos finales de ella CO_2 y H_2O , este último sólo cuando el combustible contiene hidrógeno; suceden reacciones con formación de productos intermedios de existencia muy corta y cuya realidad no está perfectamente bien definida.

El choque molecular del combustible (considerado al estado gaseoso) y el oxígeno, a la temperatura de ignición —"aquella a la cual la ganancia de calor es mayor que la pérdida, en una reacción de oxidación"— produce la combustión instantaneamente.

Para que la combustión sea efectiva es necesario que las partes del sistema: horno, combustible y quemadores, estén adaptados unos a otros.

Las paredes del horno actúan como catalizadores de las reacciones en cadena y en otros casos las destruyen; estas reacciones no es posible identificarlas plenamente en combustión rápida y sólo se conocen los pasos completos en la combustión lenta, a temperaturas de 400°F — 600°F ; de este tipo de combustión lenta son las siguientes reacciones propuestas para el metano y el monóxido de carbono, por Lewis y Van Elve (Griswold Pág. 183).

producen separadamente; la mezcla es gradual, resultando, la combustión lenta y extendida a través del horno, alcanzando algunas veces hasta el ducto.

En el primer caso la temperatura en el interior no es uniforme pero la atmósfera es constante; en el segundo caso la temperatura es uniforme pero la atmósfera es variable, quedando oxígeno sin combinarse.

Entre estos dos grupos existen combinaciones según las condiciones deseadas.

Como la temperatura de ignición depende de las propiedades del sistema en cuestión y no sólo de la substancia combustible, variando la relación gas-aire, o la forma de inyección, varían las condiciones de combustión, la que determina la constitución de la flama, la cual es el área de reacción más rápida y el límite entre el gas no quemado y el quemado; pudiendo ser luminosa o no luminosa y de forma y temperatura controladas.

El calor es transmitido al gas no quemado por la flama, en la cual la ignición y combustión ocurren simultáneamente. La rapidez con la cual se propaga la flama es función de la composición de la mezcla, de la temperatura y de la presión total, siendo esta última una medida directa de la concentración específica o proximidad molecular. Una mezcla pobre en oxígeno produce una flama luminosa debido a las partículas de carbón que conducen calor por radiación; esta misma flama es obtenida cuando los quemadores son de mezcla en el interior.

La combustión es afectada por la magnitud y forma de

propagación de la presión generada, dependiendo ésta de la presión total, de la velocidad de mezcla y del grado de confinamiento. Cuando se genera una presión pequeña sin balancear, ésta desaparece rápidamente con un movimiento de fluido, causando un aumento de volumen lo que acelera el movimiento del frente de la flama; presiones grandes provocan una compresión con aumento de temperatura, acelerándose la

velocidad de oxidación y la flama se desplaza a velocidades supersónicas; mezclas a presiones superiores a la atmosférica provocan detonación.

En los quemadores de premezcla, la velocidad de los gases debe ser tal que supere a la velocidad de propagación de la flama; si la velocidad es lenta la ignición puede ocurrir dentro del quemador, además la flama no recibe dirección; si la velocidad es muy grande la flama se localiza muy allá de los quemadores.

Combustión en este Horno

Puesto que el gasto de gas varía según las necesidades de operación, la relación aire-gas varía, si aquél no disminuye en gasto; por esta razón se encontraron diferencias en los análisis del Orsat, en los excesos de aire usados.

El gasto de gas se disminuye porque la temperatura interior es la máxima aceptada, en estas condiciones, si en un principio se quemaba bien el gas, éste se quemará igualmente bien, cuando se ha disminuído su gasto, mientras la temperatura interior sea alta, puesto que si fuere baja, las paredes o la carga servirían como reatrdadores de la combustión.

GENERALIDADES SOBRE ATMOSFERA EN HORNOS INDUSTRIALES

La atmósfera de un horno es el medio formado por los gases, puede ser natural o de combustión y artificial o preparada; la primera incluye los gases de combustión y la segunda, vapores y gases apropiados.

La presión en el interior debe ser la atmosférica o ligeramente superior a la atmosférica; esto evita que del exterior penetre aire que actúe sobre la carga oxidándola o en caso de ser mucho mayor que la atmosférica, que del interior se escape gran cantidad de gases por las puertas o ventanas, causando la pérdida consiguiente de calor. Se prefiere tener esa presión en un valor de 0.01 pulgadas de agua sobre la atmosférica.

La localización de las puertas de observación y sus dimensiones, tiene un efecto marcado en el mantenimiento de la presión en un valor determinado, la cual es controlada por una compuerta colocada en el ducto, la que automáticamente se alza o se baja cuando se producen variaciones. El control de la atmósfera requiere además de la presión adecuada, una composición de los gases que sea necesaria para el proceso; influye para lograr la composición requerida, el tipo de quemadores que experimentalmente se ha visto, afectan la acción química sobre la carga; si se trabaja con quemadores de premezcla, la acción escoriante es menor que si se trabaja con quemadores de mezcla en el interior; de igual manera y como se dijo en otro capítulo, la temperatura y la presión son también afectadas por el tipo de quemadores lográndose con los de premezcla, una presión constante pero temperatura no uni-

forme y en el caso de mezcla en el interior; la temperatura es constante pero la presión no es uniforme.

Efectos Químicos

No obstante que el propósito del horno es aumentar únicamente la temperatura, la carga está expuesta a reaccionar con el medio gaseoso; esta reacción es influenciada por la temperatura en el interior, la composición de la carga y de la misma atmósfera, cuyos componentes son oxígeno y nitrógeno del aire y gases de combustión formados generalmente por CO_2 , vapor de agua, SO_2 (únicamente trazas debe haber), H_2 y CO , estos sólo al principio de las reacciones de combustión; cuando hay un exceso de oxígeno en la atmósfera, éste oxida o provoca la escoria, diciéndose que la atmósfera es oxidante o pobre; cuando un medio gaseoso reduce o desescoria, se dice que la atmósfera es reductora o rica, no debiéndose entender que sea así, siempre que haya escasez de oxígeno, porque los otros gases en contacto con el acero a altas temperaturas, se disocian, provocando también la escoria; entre las atmósferas reductora y rica se tiene la llamada neutra.

Formación de Escoria.—El ataque a la superficie de la carga por el medio gaseoso, está sujeto a cierto orden de actividad, considerándose al oxígeno como el más activo para la formación de escoria u óxidos de fierro de diferentes clases, le sigue el aire, vapor de agua y dióxido de carbono cuando no hay presente compuestos de azufre. De acuerdo con las experiencias de Uptthergrave (M.H. Mawhinney, Heating of Steel Pág. 8), "tal actividad comienza a 1400°F , aumentando rápidamente con la temperatura, a 1500°F el efecto del CO_2 aumenta poco con la temperatura, a 1700°F el aire es 11 veces más activo que el CO_2 ; a 1800°F el efecto escoriante del oxígeno aire y vapor de agua, comienza a disminuir, mientras el efecto del CO_2 crece, hasta que a 2000°F es igual al del aire". Cuando el combustible lleva azufre, compuestos de éste se presentan en los gases, aumentando considerablemente la formación de escoria; a 1800°F 0.1% de SO_2 tiene tanto efecto en la formación de escoria como el 1% de oxígeno; de aquí

la limitación de un combustible que tenga un contenido notable en azufre.

La introducción de 2% de oxígeno, cuando una presión baja así lo permita, aumentaría hasta 5 ó 6 veces la formación de escoria; las causas de este aumento no están bien precisas y únicamente ha sido observado por la experiencia. En una atmósfera neutra la formación de escoria llega aproximadamente a 0.1% en peso.

La escoria toma aspectos según la temperatura a que se encuentre; arriba de 1500°F — 1660°F es roja, a temperaturas mayores negra.

El espesor que alcanza debe conservarse tal que al pasar a laminarse el lingote, se separe a los primeros pasos; para esto debe impedirse una escoria delgada que no sea fácil de separar; sin embargo aún al terminar de laminarse un lingote, reducido grandemente su sección, hasta convertirse en varilla, la escoria no se separa del todo, quedando en capas milimétricas adherida.

Atmósfera Reductora.—“Jominy y Murphy (Heating of Steel, Mawhinney Pág. 7), han encontrado que el efecto reductor a una temperatura de 2000°F, no fué notable con una concentración de 6% de monóxido de carbono (77% de la combustión teórica) a una concentración entre 6% y 12% la disminución de la escoria fué gradual y a una concentración de 16.5% de CO, (55% de la combustión teórica) la disminución de la escoria fué rápida”.

El combustible por su afinidad por el oxígeno también reduce la escoria.

Descarburización.—El ataque al carbón aleado con el hierro, tiene como causantes los mismos factores que provocan la escoria; de esta manera el oxígeno libre que penetra al interior del horno es un descarburizante sumamente fuerte, tanto como el hidrógeno que se le considera el más (Mawhinney, The

Heating of the Steel Pág. 11), contándose también como muy activo en este aspecto el CO a temperaturas elevadas.

Atmósfera en este Horno.—La atmósfera en las condiciones actuales es oxidante por el exceso de aire; en el interior se mantiene una presión de 0.01 pulgadas de agua, evitándose la entrada de aire, así mismo la fuga de gases de combustión.

Como se tiene quemadores de premezcla, la temperatura no es constante.

CAPITULO IV

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en las pruebas presentes, en comparación con los del proyecto de Domingo Lodigiani, muestran una gran semejanza, lo que viene a ser una comprobación del diseño y cálculo de este horno.

La eficiencia térmica fué superada de 35.5% a 39.0%, y puede decirse que en condiciones no ideales de trabajo, puesto que, durante el tiempo que comprendió la experiencia, no se trabajó a la capacidad media en el horno, porque "laminación" no trabajó constantemente, esta eficiencia alcanza valores arriba de 40%, cuando la demanda de fierro caliente es constante, y así se obtuvo en pruebas parciales. El aumento de la eficiencia viene a ser el resultado más favorable.

El agua de enfriamiento se lleva actualmente una cantidad de calor considerablemente menor que la calculada para el proyecto; esto se debe a que la superficie de tubos proyectada, ha sido disminuída en el interior y además los tubos tal y como se encuentran ahora, están más protegidos por material refractario. Por otra parte la temperatura es menor en la zona de precalentamiento y por consiguiente disminuye la transmisión de calor a los tubos.

Al disminuir el calor que se lleva el agua de enfriamiento se da una seguridad más para la conservación de los tubos y se expone menos la paralización del trabajo por rupturas en ellos.

Las pérdidas de calor a través de las paredes aumentaron, puesto que el agua de enfriamiento se llevó una menor cantidad de calor.

Los gases de combustión llevan una cantidad de calor ligeramente menor, que puede considerarse que es la misma del proyecto.

La temperatura deseada en el proyecto, alrededor de 2200°F, se alcanza para la carga, y disminuye la salida de gases de 1250°F en el proyecto, a 932°F en la prueba presente, dato que significa dejar una mayor cantidad de calor en el horno. En lo que respecta a la combustión, el gas se está quemando perfectamente bien, la relación aire-gas, fué muy aceptable; se proyectó trabajar con 10% de exceso de aire y actualmente encontramos que se trabajó con 11.6% y 29.4%, el primer valor es muy cercano y el segundo es alto, pero débese a las condiciones de operación, ya que el operario disminuyó el gasto de gas para que la producción de calor fuera menor y la temperatura se sujetara alrededor de 2200°F, sin disminuir igualmente el gasto de aire. Al no quedar gas sin quemar, se demuestra que este exceso usado es conveniente.

La atmósfera es oxidante, debido al exceso de aire, con que se trabaja, pero que es necesario para la combustión; la carga sale con una capa de óxido que fácilmente se cae. de acuerdo con el proyecto.

En conclusión el horno está trabajando correctamente y de acuerdo con el proyecto.

CAPITULO V

BIBLIOGRAFIA

- LODIGIANI DOMINGO: "TESIS". ESC. NAL. DE C. QUIMICAS.
"U.N.A.M." 1951.
- HOUGEN and WATSON: Chemical Proces Principles Combined Volume. John Willey & Sons, New York, 1947.
- RHODES THOMAS J.: Industrial Instruments for measurment and Control McGraw Hill Book Co, Inc. New York, 1941.
- LEWIS W., RADASCH A., LEWIS C.: Industrial Stoichiometry Second Edition McGraw Hill Book Co, Inc. New York, 1954.
- KIRKBRIDE CHALMER: Chemical Engineering Fundamentals 1ª Edition McGraw Hill Book Co, Inc. New York, 1947.
- WALKER H., LEWIS W., GILLILAND E.: Principles of Chemical Engineering third Edition McGraw Hill Book Co, Inc. New York, 1937.
- BERL LUNGE D'ANS: Métodos de Análisis Químico Industrial Vol 1, Traducción de la octava Edición Alemana por José Cereso Jiménez, Editorial Labor, S. A. Barcelona, 1946.
- TRINKS W.: "Industrial Furnaces" Vol. I, 4ª Edición John Wiley & Sons Inc., New York, 1953.
"Industrial Furnaces" Vol. II, 2ª Edición, John Wiley & Sons Inc., New York, 1952.
- MAWHINNEY M. H.: "Practical Industrial Furnace Design" 1ª Edición, John Wiley & Sons Inc., New York, 1948.
"The Heating of Steel", 1ª Edición, Reinhold Publishing Corp., New York, 1945.
- GRISWOLD JOHN: "Fuels, Combustion and Furnaces", 1ª Edición, McGraw Hill Book Co. New York, 1946.
- MCADAMS W. H.: "Heat Transmission", 2ª Edición, McGraw Hill Book Co, New York, 1942.
- PERRY JOHN H.: "Chemical Engineer's Hand Book", 2ª Edición, McGraw Hill Book Co., New York.