

UNIVERSIDAD IBERO AMERICANA  
INCORPORADA A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
FACULTAD DE QUIMICA BERZELIUS

Cálculo de las Condiciones de Operación Necesarias para  
Aumentar la Capacidad de un Horno para Laminación de  
Barras de Cobre.

# TESIS PROFESIONAL

JOSE ANGEL DEL MORAL ALVAREZ



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.

UNIVERSIDAD IBEROAMERICANA  
INCORPORADA A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  

---

FACULTAD DE QUIMICA BERZELIUS

- **Cálculo de las Condiciones de Operación Necesarias para Aumentar la Capacidad de un Horno para Laminación de Barras de Cobre.**

T E S I S

Que para obtener el título de:  
INGENIERO QUIMICO

p r e s e n t a :

JOSE ANGEL DEL MORAL ALVAREZ

---

MEXICO, D. F.

1959

## I N D I C E

- I. Introducción.
- II. Estudio general del problema y derivación de la ecuación total de transmisión de calor.
- III. Balance de materiales.
- IV. Balance de energía.
- V. Aplicación de la ecuación total de transmisión de calor.
- VI. Conclusiones.
- VII. Bibliografía.

## I. INTRODUCCION

El objeto de el presente trabajo consiste en modificar las condiciones de operación de un horno cuya capacidad se quiere aumentar. El horno es de tipo continuo, alimentado con aceite diesel y se utiliza en el calentamiento de barras de cobre con el fin de hacerlas lo suficientemente dúctiles para ser sometidas a un -- proceso de laminado y formar alambrcn de diámetro relativamente pequeño

La velocidad de operación en el proceso de laminado depende de el diámetro que se desee dar al alambrcn; así, en alambrcn de 0.794 cm (5/16") de diámetro el tiempo de proceso de cada barra de cobre es mayor que en el de 0.953 cm (3/8"). Por lo tanto el tiempo que permanecerá cada barra en el horno dependerá de el -- tipo de alambrcn que se vá a producir.

Actualmente las producciones en alambrcn de 0.794 y -- 0.953 son de 75 y 90 barras por hora respectivamente, trabajando a capacidad máxima, pero se desean aumentar a 84 y 100 barras por hora. Por otro lado, el peso de éstas barras se vá a aumentar de 100 a 110 Kg. Estas modificaciones traerán como consecuencia un diferente funcionamiento del horno y se necesitará por lo mismo, fijar nuevas condiciones de operación. Para ello, se analizarán en los -- siguientes capítulos los diferentes factores que ejercen influencia apreciable en la determinación de esas condiciones de operac---ción.

## II. ESTUDIO GENERAL DEL PROBLEMA Y DERIVACION DE LA ECUACION TOTAL DE TRANSMISION DE CALOR

### A.- Descripción del equipo.

El horno tiene las siguientes dimensiones : 9.50 m de largo, 1.85 m de alto en la entrada y 2.32 m de alto en la salida de las barras. Sus paredes van cubiertas por una capa de ladrillo refractario de 0.30 m de espesor. En el piso del horno existen unos rieles dentro de los cuales circula una corriente de agua para facilitar el deslizamiento de las barras de cobre. Para llevar a cabo la combustión del diesel existen 5 quemadores, tres de los cuales están colocados en la pared final del horno junto a la abertura de salida de las barras y los otros dos están en la parte media del horno. El sentido de flujo de los gases de combustión es, por lo tanto, contrario al sentido de flujo de las barras. La expulsión al exterior de los gases de combustión se lleva a efecto por medio de una chimenea de 13 m de altura y es ayudada por un ventilador colocado en la entrada de la chimenea.

El horno tiene como equipo auxiliar controles automáticos que regulan la alimentación de combustible y la relación combustible / aire para mantener una temperatura constante dentro de límites razonables dada la capacidad actual del horno.

El funcionamiento del horno es el siguiente : El operador toma un gancho que va suspendido de un monoriel y lo acerca a la puerta del horno; en éste momento la puerta se abre automáticamente y el operador toma la primera barra y la saca. La puerta se cierra y la barra se introduce en el primer paso de la laminadora

y empieza su proceso de laminado. Después de que ésta barra entra al 5° paso de la laminadora, se procede a sacar la 2a barra del horno. Mientras tanto las barras en el interior del horno se han deslizado acercándose a la puerta de salida. Esta operación se repite indefinidamente variando la duración de cada ciclo de acuerdo con el diámetro final del alambión.

B.- Distribución de calor en la cámara de combustión.

Es éste un problema muy complejo dada la diversidad de corrientes de calor que existen; sin embargo se puede simplificar utilizando datos experimentales. La fuente de calor es el combustible diesel que se quema en el horno. El calor generado en la combustión se transmite por Radiación y Convección aunque éste último mecanismo no puede compararse en importancia con el primero. Este calor se distribuye en la siguiente forma : una parte sale con el cobre en forma de calor sensible; otra parte sale con los gases de combustión; una tercera fracción, aunque pequeña comparada con las anteriores, la constituye el calor sensible que sale con el vapor de agua formado en la reacción de combustión y el de la humedad del aire; también se tiene el calor que se pierde al exterior por convección a las paredes y conducción a través de éstas y por radiación a través de la puerta de salida de las barras de cobre. Se estudiarán éstas corrientes por separado.

1.- Calor absorbido por el cobre. El cobre absorbe calor de los gases calientes por radiación y por convección. El calor absorbido por radiación se puede determinar partiendo de la Ley de Stefan -- Boltzmann, según la cual el poder emisor de un cuerpo negro es directamente proporcional a la cuarta potencia de su temperatura absoluta :

$$W_B = \sigma T^4$$

En la ecuación anterior  $W_B$  es el poder emisor del cuerpo,  $\sigma$  es la constante de proporcionalidad llamada constante de Stefan-Boltzmann y  $T$  es la temperatura absoluta. El valor de  $\sigma$  es el siguiente :

$$\sigma = 4.92 \times 10^{-8} \text{ Kcal / m}^2\text{hr}(\text{°K})^4 \quad (5)$$

Si por otro lado se define la emisividad de una superficie como la relación que existe entre el poder emisor de dicha superficie y el de un cuerpo negro, se puede obtener la siguiente ecuación :

$$q = \sigma A e (T_1^4 - T_2^4)$$

En la cual :

$q$  : Pérdida de energía radiante de un cuerpo hacia sus alrededores.

$A$  : Superficie del cuerpo emisor.

$e$  : Emisividad del cuerpo.



$T_1$  : Temperatura absoluta del cuerpo emisor.

$T_2$  : Temperatura absoluta de los alrededores del cuerpo emisor.

Sin embargo, ésta ecuación no se puede usar en esa forma en el caso más complicado de el intercambio de radiación en un sistema de varias superficies con diferentes temperaturas y emisividades. Se debe incluir aquí un factor geométrico que se denominará  $F_{12}$  y que se define como la fracción de la energía radiante emitida por la superficie  $A_1$  que es interceptada por la superficie  $A_2$ . De acuerdo con esto, la ecuación anterior quedará ahora en la forma :

$$q = A_1 F_{12} \sigma (T_1^4 - T_2^4)$$

Pero la energía que recibe la superficie  $A_2$  no es únicamente la que le llega directamente de  $A_1$  puesto que las paredes refractarias que rodean al sistema reflejan parte de la energía que reciben y una fracción de ésta energía re-radiada incide sobre la superficie  $A_2$ . Por lo tanto el factor  $F_{12}$  debe ser modificado a un factor  $\bar{F}_{12}$  que representará la fracción de la energía emitida por  $A_1$  que llega a  $A_2$  en forma directa y con la asistencia de las paredes refractarias. Se tiene ahora la expresión :

$$q = A_1 \bar{F}_{12} \sigma (T_1^4 - T_2^4)$$

Esta ecuación no da todavía la cantidad exacta de calor radiante que absorbe una superficie puesto que existen aún corrientes de calor reflejado entre las diversas superficies inte-

riores. Para incluir éstas corrientes, se transformará el factor- $\bar{F}_{12}$  a  $f_{12}$  con el cual se obtendrá el intercambio de calor entre  $A_1$  y  $A_2$  debido a los mecanismos combinados de radiación directa, re-radiación de las superficies refractarias y reflexiones varias dentro del horno. Si se denominan con los subíndices C y F a las superficies calientes y frías respectivamente, se tendrá :

$$q = A_C f_{CF} \sigma (T_C^4 - T_F^4)$$

Y, puesto que en el equilibrio térmico el calor radiado por el cuerpo caliente es igual al calor absorbido por el cuerpo frío, se puede escribir la ecuación anterior en la forma :

$$q = A_F f_{FC} \sigma (T_C^4 - T_F^4)$$

Ahora, puesto que la emisividad de la masa gaseosa es función de su temperatura y de las presiones parciales de sus --- constituyentes radiantes y por otro lado la emisividad efectiva - del horno es función de la emisividad del gas y de la relación en tre las superficies del refractario y las superficies frías, si - se mantienen constantes la temperatura y la composición de los ga ses de combustión, la emisividad efectiva del horno variará solo- con la variación de superficies frías.

Según lo anterior, se puede determinar experimentalmen- te el valor de  $f_{FC}$  y aplicarlo a la ecuación anterior para un di- ferente valor de  $A_F$ .

Además y puesto que las barras de cobre están en con-- tacto directo con los gases de combustión, absorberán calor tam--

bién por el mecanismo de convección. Este calor se puede determinar con una ecuación del tipo :

$$q = hA\Delta T$$

En la cual  $h$  es el coeficiente de transmisión de calor por convección o coeficiente de película y es la medida de flujo de calor por unidad de superficie y por unidad de diferencia de temperaturas.

Aplicando ésta ecuación al presente caso y sumándola a la ecuación del calor transmitido por radiación, se obtiene :

$$Q = A_F f_{FC} \sigma (T_C^4 - T_F^4) + h_c A (T_C - T_F)$$

Siendo el calor absorbido por convección casi despreciable en comparación con el absorbido por radiación y para simplificar el problema, se pueden hacer las siguientes consideraciones ( Ver : Kern, Donald Q. "Process Heat Transfer", pág. 698 1950 ) :

a) Se supone que la superficie expuesta a la radiación es aproximadamente la mitad de la superficie total de las barras, o sea :

$$A = 2A_F$$

b) Se asigna a  $h_c$  un valor de 2.

c) Se incluye el coeficiente  $f_{FC}$  en el término de calor transmitido por convección. Para ello, se multiplica y divi-

de el término por  $f_{FC}$  dándole a éste coeficiente un valor de 0.57 en el denominador.

De acuerdo con lo anterior y haciendo las substituciones necesarias, la ecuación se transforma en la siguiente :

$$Q = A_F f_{FC} \left( T_C^4 - T_F^4 \right) + 2 \times 2A_F (T_C - T_F) \frac{f_{FC}}{0.57}$$

$$Q = A_F f_{FC} \left( T_C^4 - T_F^4 \right) + 7A_F f_{FC} (T_C - T_F)$$

$$Q = A_F f_{FC} \left[ \left( T_C^4 - T_F^4 \right) + 7(T_C - T_F) \right]$$

Se tiene así una ecuación que dá todo el calor transmitido al cobre.

2.- Calor que sale con los gases de combustión. Tratándose en éste caso de calor sensible, se puede determinar directamente con la ecuación :

$$Q = W_G C_{pm} \Delta T$$

En la cual  $W_G$  es la cantidad de gases de combustión se cos expresada en moles;  $C_{pm}$  es la capacidad calorífica media de la mezcla entre la temperatura de entrada y la de salida;  $\Delta T$  es la diferencia de temperaturas. La capacidad calorífica media de la mezcla se obtiene multiplicando la capacidad calorífica media de los componentes individualmente por su fracción mol y sumando éstos resultados.

3.- Calor sensible que sale con el vapor de agua. El vapor de agua presente en los gases de combustión proviene en parte de la -

reacción de combustión del diesel y en parte de la humedad del aire. El primero se debe determinar por medio de un balance de materiales y el segundo se puede obtener con ayuda de una Carta de Humedad en la cual se localizará el dato de humedad absoluta en Kg de agua por Kg de aire seco para las condiciones atmosféricas medias observadas en el lugar de trabajo.

Una vez conocida la cantidad de vapor de agua, se puede aplicar una ecuación similar a la utilizada en el caso de los gases de combustión.

4.- Pérdidas de calor. En éste caso, las pérdidas de calor se pueden dividir en dos clases : pérdidas por convección a las paredes y conducción a través de éstas y pérdidas por radiación al exterior al abrir la puerta del horno para sacar las barras y quedar expuesta la masa gaseosa caliente.

Estas pérdidas, en conjunto, se pueden expresar con la ecuación :

$$Q = nA\sigma e(T_1^4 - T_2^4) + hA_p(T_1' - T_2)$$

En esa ecuación A es el área a través de la cual se vá a transmitir calor por radiación, o sea el área de la puerta de salida de las barras; n es el número de barras que se van a sacar y que al ser multiplicado por A dará el área total equivalente durante un cierto período;  $T_1$  es la temperatura de la masa gaseosa-caliente;  $A_p$  es el área de las paredes del horno y  $T_1'$  es la temperatura de las paredes del horno.

Para calcular los coeficientes de transmisión de calor

en éste caso, se necesitarán nuevamente datos experimentales. Si se determinan por medio de un balance de energía las pérdidas de calor para alambrcn de 0.953 y 0.794, la diferencia entre los dos valores será por concepto de calor radiante puesto que se tiene un diferente valor de  $n$  en los dos casos. En cambio las pérdidas a través de las paredes serán iguales puesto que dependen de  $h$ ,  $A_p$  y  $T_1'$  que son iguales en los dos casos. Se expresarán las pérdidas de calor en los dos tipos de alambrcn con las siguientes ecuaciones :

$$\text{Para } 0.953 \quad Q = nA \sigma e(T_1^4 - T_2^4) + hA_p(T_1' - T_2)$$

$$\text{Para } 0.794 \quad Q' = n'A \sigma e(T_1^4 - T_2^4) + hA_p(T_1' - T_2)$$

Puesto que se conocen las pérdidas de calor y el número de barras, se despeja :

$$A \sigma e(T_1^4 - T_2^4) = \frac{Q - Q'}{n - n'}$$

Si se llama a éste valor  $K$  y se substituye en cualquiera de las dos ecuaciones originales, se obtiene :

$$Q = nK + hA_p(T_1 - T_2)$$

Despejando el término de calor por convección :

$$hA_p(T_1 - T_2) = Q - nK$$

Este calor, que se llamará  $k$ , es constante para un área y temperaturas constantes; sin embargo, al aumentar la capacidad del horno será necesario aumentar su longitud y por lo mismo-

aumentará el valor de  $A_p$ . Si se llama  $A_m$  a la nueva superficie de las paredes, las pérdidas de calor al exterior quedarán expresadas por la ecuación :

$$Q = nK + \frac{A_m}{A} k$$

C.- Ecuación total de transmisión de calor.

Como se dijo al principio, el calor desprendido en la combustión del diesel sale en parte con el cobre, en parte con los gases de combustión y el agua y el resto se pierde. Expresando esto con las ecuaciones de calor obtenidas anteriormente, se obtiene la ecuación total de transmisión de calor, que es la siguiente :

$$I = A_p f_{FC} \left[ \sigma (T_C^4 - T_F^4) + \gamma (T_C - T_F) \right] + W_G C_{pm} (T_2 - T_1) \\ + W_W C_p (T_2 - T_1) + nK + \frac{A_m}{A} k$$

En la cual  $I$  es el poder calorífico bajo del combustible.

Con la ayuda de datos obtenidos experimentalmente y balances de materiales y energía, se podrán determinar los valores de  $f_{FC}$ ,  $K$  y  $k$ , los cuales se substituirán en la ecuación total incluyendo las modificaciones debidas a el aumento de capacidad de el horno.

### III. BALANCE DE MATERIALES

Para efectuar el balance de materiales es necesario -- disponer de una serie de datos tales como el análisis del combustible, el análisis de los gases de combustión, el consumo de combustible y las temperaturas de operación. Esos datos son los siguientes :

a) Análisis del combustible diesel. Este dato fué proporcionado por el proveedor y es, tomando como base 100 gr de aceite :

S : 1.3 gr.

H<sub>2</sub> : 14.4 gr.

C : 84.3 gr.

b) Análisis de los gases de combustión. Este dato se obtuvo haciendo un análisis de los gases en la chimenea del horno con un aparato Orsat. Tomando como base 100 moles de gases, la composición de la mezcla es :

CO<sub>2</sub> + SO<sub>2</sub> : 13.53 moles

O<sub>2</sub> : 2.07 moles

N<sub>2</sub> : 84.40 moles

c) El consumo de combustible para los dos tipos de alambrrn es, tomando como base una hora :

Alambrón de 0.953 Se utilizan 185.4 lts. de diesel por hora, --



que para los 9 000 Kg de cobre que se procesan, equivalen a 0.0206 lts por Kg de cobre.- En éste caso se usan 5 quemadores.

Alambrón de 0.794 Se utilizan 162 lts de diesel por hora, que para los 7 500 Kg de cobre que se procesan, equivalen a 0.0216 lts por Kg de cobre. En éste caso se usan 4 quemadores.

d) Las temperaturas de operación, temperatura ambiente y condiciones atmosféricas medias observadas en la zona de trabajo son las siguientes :

Las barras de cobre deben salir a 900°C del horno. Sin embargo, existe un margen de seguridad que es de 20°C en exceso o en defecto de la temperatura nominal.

Los gases de combustión entran a la chimenea con una temperatura de 500°C.

El cobre, el diesel y el aire que entran a la cámara de combustión llevan una temperatura media de 15°C.

La temperatura de bulbo húmedo media observada fué de 9°C.

El poder calorífico bajo del diesel es 10 790 Kcal por cada Kg de combustible y su gravedad específica es de 0.857 gr -- por cm<sup>3</sup>.

Se transformará primero la composición en peso del aceite a composición molar. Para ello, se divide el peso de cada componente entre su peso molecular :

$$S : \frac{1.3}{32.06} = 0.0405 \text{ átomos}$$

$$H_2 : \frac{14.40}{2.016} = 7.15 \text{ moles}$$

$$C : \frac{84.30}{12.00} = 7.012 \text{ átomos}$$

Tomando como base 100 gr de diesel, se efectúa la siguiente distribución :

	MOLES	ATOMOS C	MOLES H <sub>2</sub>	ATOMOS (S + C)
S	0.0405			0.0405
H <sub>2</sub>	7.1500		7.15	
C	7.0120	7.012		7.0120
TOTALES	14.2025	7.012	7.15	7.0525

Los átomos de carbono en los gases de combustión serán

$$13.53 \frac{7.0120}{7.0525} = 13.44 \text{ átomos C}$$

Por consiguiente los átomos de azufre serán :

$$13.53 - 13.44 = 0.09 \text{ átomos S}$$

Se tendrá como análisis de los gases de combustión, tomando como base 100 moles de gases, el siguiente :

CO <sub>2</sub>	13.44 moles
SO <sub>2</sub>	0.09 moles
O <sub>2</sub>	2.07 moles
N <sub>2</sub>	84.40 moles

Se efectuará a continuación el balance de materiales - propiamente dicho, para lo cual se tomará siempre como base 100 - gr de combustible.

a) Relación entre la cantidad de gases de combustión y la de combustible. Efectuando un balance de carbono se tiene :

$$7.012 = \frac{13.44}{100} X$$

$$X = 52.15 \text{ moles de gases de combustión secos.}$$

b) Relación entre aire y combustible. Esta relación se obtiene por medio de un balance de nitrógeno, según el cual :

$$0.79 Y = \frac{84.40}{100} 52.15$$

$$Y = 55.7 \text{ moles de aire seco}$$

c) El aire teóricamente necesario es :

$$7.0525 + \frac{7.15}{2} = 10.6275 \text{ moles de } O_2$$

$$10.6275 \frac{100}{21} = 50.6 \text{ moles de aire seco}$$

d) El porcentaje de exceso de aire será la relación entre el aire utilizado y el teóricamente necesario :

$$\frac{55.7}{50.6} = 1.10$$

Es decir, el exceso de aire será de 10%

e) El vapor de agua que sale con los gases de combustión proviene en parte de la humedad del aire y en parte también de la reacción de combustión. Este último, como se desprende del análisis del combustible, es 7.15 moles. El primero será determinado por medio de una carta de humedad. Para ello son necesarios dos puntos de referencia. En el presente caso los más fáciles de obtener fueron las temperaturas de bulbo húmedo y de bulbo seco:

$$T = 15^{\circ}\text{c}$$

$$T_w = 9^{\circ}\text{c}$$

La humedad absoluta para éstas condiciones es :

$$H = 0.007 \text{ Kg de vapor de agua / Kg de aire seco}$$

Puesto que se tienen  $55.7 \times 0.029 = 1.616$  Kg de aire seco, el agua que entra será :

$$1.616 \times 0.007 = 0.0113 \text{ Kg de agua}$$

Que transformados a moles dan :

$$\frac{0.0113 \times 1000}{18.016} = 0.627 \text{ moles de agua}$$

Por lo tanto el agua total presente en los gases de combustión es :

$$7.15 + 0.627 = 7.777 \text{ moles}$$

Tomando éstos datos para el balance de materiales en alambrón de 0.953 y separándolos en materiales que entran y mate-

riales que salen del horno, se obtienen los siguientes resultados tomando como base una hora :

I.- Materiales que entran.

a) Cobre	9000.0 Kg
b) Diesel	$185.4 \times 857 = 158.8 \text{ Kg}$
c) Aire	$\frac{158\ 800 \times 55.7 \times 29}{100 \times 1000} = 2566.0 \text{ Kg}$

El volumen húmedo del aire para las condiciones actuales, tomado también de la carta de humedad, es  $1.07 \text{ m}^3$  por Kg de aire seco, luego el volumen del aire húmedo será :

$$2566 \times 1.07 = 2747 \text{ m}^3 \text{ de aire húmedo}$$

II.- Materiales que salen.

a) Cobre	9000 Kg
b) Gases de combustión secos	

$$\frac{158800}{100} \times 52.15 = 82800 \text{ moles}$$

El volumen que ocupan éstos gases a  $500^\circ\text{C}$  y  $585 \text{ mm Hg}$  será :

$$82800 \times 0.0224 \times \frac{760}{585} \times \frac{773}{273} = 6840 \text{ m}^3$$

c) Vapor de agua

$$\frac{158800}{100} \times 7.78 = 12\ 360 \text{ moles}$$

Estas moles transformadas a las actuales condiciones de presión y temperatura ocupan el siguiente volumen :

$$12360 \times 0.0224 \times \frac{760}{585} \times \frac{773}{273} = 1019 \text{ m}^3$$

Para el caso de alambrcn de 0.794, se harcn los mismos clculos y tambien con la base de una hora, se tienen los siguientes resultados :

I.- Materiales que entran.

- a) Cobre 7500.0 Kg  
 b) Diesel  $162 \times 857 = 138.9 \text{ Kg}$   
 c) Aire  $\frac{138900 \times 55.7 \times 29}{100 \times 1000} = 2242.0 \text{ Kg}$

Con el dato de  $1.07 \text{ m}^3$  por Kg de aire hmedo, se calcula el volumen de el aire hmedo :

$$2242 \times 1.07 = 2400 \text{ m}^3 \text{ de aire hmedo}$$

II.- Materiales que salen.

- a) Cobre 7500.0 Kg  
 b) Gases de combustin secos

$$\frac{138900}{100} \times 52.15 = 72400.0 \text{ moles}$$

Que transformadas a las condiciones actuales de presin y temperatura :

$$72400 \times 0.0224 \times \frac{760}{585} \times \frac{773}{273} = 5980.0 \text{ m}^3$$

- c) Vapor de agua

$$\frac{138900}{100} \times 7.78 = 10810.0 \text{ moles}$$

$$10810 \times 0.0224 \times \frac{760}{585} \times \frac{773}{273} = 892.0 \text{ m}^3$$

#### IV. BALANCE DE ENERGIA

Para efectuar éste balance, se dividirán las corrientes de calor en dos clases : calor que entra al horno y calor que sale del horno.

1.- Calor que entra al horno.

a)  $q_1$  : Calor de combustión del diesel

2.- Calor que sale del horno.

b)  $q_2$  : Calor sensible de el cobre a  $900^{\circ}\text{c}$

c)  $q_3$  : Calor sensible de los gases de combustión-  
a  $500^{\circ}\text{c}$

d)  $q_4$  : Calor sensible de el vapor de agua a  $500^{\circ}\text{c}$

e)  $q_5$  : Pérdidas de calor al exterior

Se calcularán primero esas corrientes tomando como base 100 gr de combustible.

a) Calor de combustión del diesel. Puesto que el poder calorífico bajo del diesel es de 10790 Kcal / Kg, el calor que -- desprenderán 100 gr será :

$$q_1 = 10790 \frac{100}{1000} = 1079 \text{ Kcal}$$

b) Calor sensible de el cobre. Este calor se puede calcular integrando la ecuación de Cp del cobre tomando como límites las temperaturas de entrada y de salida del cobre. Puesto que depende de la cantidad de cobre que se vá a calentar, se calculará independientemente para los dos tipos de alambción.

c) Calor sensible de los gases de combustión. En primer lugar se calculará el calor para cada uno de los componentes de la mezcla de gases. A continuación se multiplicará éste calor por la fracción mol de cada gas. Sumando éstos resultados se obtiene el calor para cada mol de gases de combustión. Multiplicando éste dato por el número de moles que provienen de 100 gr de combustible, se tendrá el calor total que sale con los gases de combustión. Para calcular el calor de cada uno de los componentes se integra su ecuación de Cp entre 15 y 500°C. Esas ecuaciones son las siguientes :

$$\text{CO}_2 : C_p = 10.34 + 0.00274 T - 195500 T^{-2}$$

$$\text{SO}_2 : C_p = 7.70 + 0.00530 T + 0.00000083 T^2$$

$$\text{O}_2 : C_p = 8.27 + 0.000258 T - 187700 T^{-2}$$

$$\text{N}_2 : C_p = 6.50 + 0.001 T$$

Los calores para los gases anteriores serán :

$$Q_{\text{CO}_2} = \int_{288}^{773} (10.34 + 0.00274 T - 195500 T^{-2}) dT = 5299 \text{ cal / mol}$$

$$Q_{\text{SO}_2} = \int_{288}^{773} (7.70 + 0.0053 T + 0.00000083 T^2) dT = 4973 \text{ cal / mol}$$

$$Q_{\text{O}_2} = \int_{288}^{773} (8.27 + 0.000258 T - 187700 T^{-2}) dT = 3664 \text{ cal / mol}$$

$$Q_{\text{N}_2} = \int_{288}^{773} (6.50 + 0.001 T) dT = 3405 \text{ cal / mol}$$

Ahora se multiplican éstos resultados por la fracción-mol de cada gas y se suman los resultados.



$$\text{CO}_2 : 5299 \times 0.1344 = 712.0$$

$$\text{SO}_2 : 4973 \times 0.0009 = 4.5$$

$$\text{O}_2 : 3664 \times 0.0207 = 75.9$$

$$\text{N}_2 : 3405 \times 0.8440 = \underline{2871.0}$$

$$\text{TOTAL } 3663.4 \text{ cal / mol}$$

Multiplicando por 52.15 moles de gases / 100 gr diesel

$$q_3 = 3663.4 \times 52.15 = 191\ 000 \text{ cal} = 191 \text{ Kcal}$$

d) Calor sensible de el vapor de agua. Como en el caso anterior, se integra la ecuación de  $C_p$  entre  $15^\circ$  y  $500^\circ\text{C}$ . Para el vapor de agua esa ecuación es :

$$C_p = 8.22 + 0.00015 T + 0.00000134 T^2$$

El calor sensible que llevarán las 7.777 moles de agua será, resolviendo la integral :

$$q_4 = 7.777 \int_{288}^{773} (8.22 + 0.00015 T + 0.00000134 T^2) dT = 32 \text{ Kcal}$$

e) Pérdidas de calor. Se calcularán por diferencia entre el calor que entra y el calor que sale para cada tipo de alambbrón.

En los siguientes cálculos, en los que serán utilizados los datos anteriores, se tomará siempre como base una hora.

ALAMBRO DE 0.9531.- Calor que entra.

$q_1$  : Calor de combustión del diesel

$$q_1 = 1079 \frac{158800}{100} = 1\ 714\ 000\ \text{Kcal}$$

2.- Calor que sale.

$q_2$  : Calor sensible con el cobre a 900°C. La cantidad de cobre que se vá a calentar es 9000 Kg, o sea :

$$n = \frac{9000000}{63.54} = 141600\ \text{moles gr.}$$

Por lo tanto, usando la ecuación de  $C_p$  :

$$q_2 = \frac{141600}{1000} \int_{288}^{1173} (5.44 + 0.001462 T) dT = 815\ 000\ \text{Kcal}$$

$q_3$  : Calor sensible con los gases de combustión

$$q_3 = 191 \times \frac{158\ 800}{100} = 304\ 000\ \text{Kcal}$$

$q_4$  : Calor sensible con el vapor de agua

$$q_4 = 32 \times \frac{158\ 800}{100} = 50800\ \text{Kcal}$$

$q_5$  : Pérdidas de calor

$$q_5 = 1\ 714\ 000 - (815\ 000 + 304\ 000 + 50\ 800)$$

$$q_5 = 544\ 200\ \text{Kcal}$$

ALAMBRO DE 0.7941.- Calor que entra.

$$q_1 = 1079 \frac{138\ 900}{100} = 1\ 500\ 000\ \text{Kcal}$$

2.- Calor que sale.

$$q_2 = \frac{7\ 500\ 000}{63.54 \times 1000} \int \frac{1173}{288} (5.44 + 0.001462 T) dT$$

$$q_2 = 679\ 000\ \text{Kcal}$$

$$q_3 = 191 \frac{138\ 900}{100} = 265\ 800\ \text{Kcal}$$

$$q_4 = 32 \frac{138\ 900}{100} = 44\ 400\ \text{Kcal}$$

$$q_5 = 1\ 500\ 000 - (679\ 000 + 265\ 800 + 44\ 400)$$

$$q_5 = 510\ 800\ \text{Kcal}$$

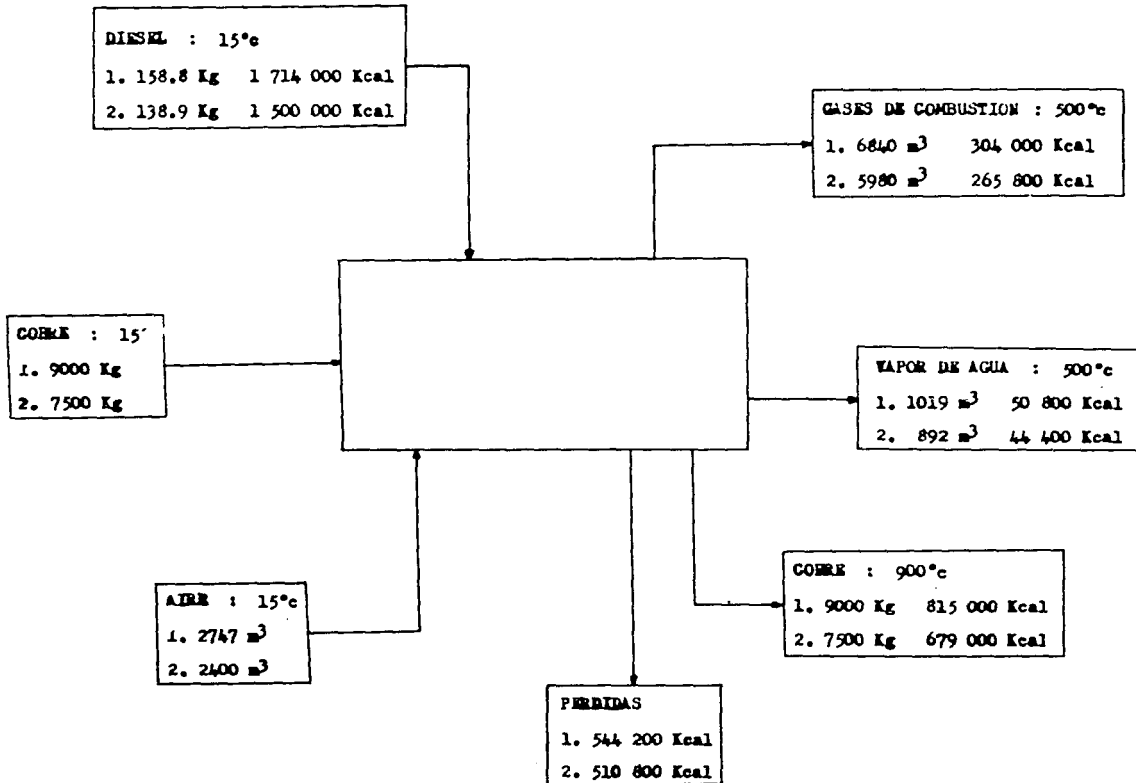
DIAGRAMA DE FLUJO

Base : Una hora

Temperatura de referencia : 15°C

1 : Alambre de 0.953

2 : Alambre de 0.794



V. APLICACION DE LA ECUACION TOTAL  
DE TRANSMISION DE CALOR

En primer lugar será necesario calcular los coeficientes de los que se habló en el primer capítulo, que son :  $f_{PC}$ , coeficiente de transmisión de calor por radiación;  $K$  y  $k$ , con los -- cuales se calcularán las pérdidas de calor al exterior.

Cálculo de los coeficientes  $K$  y  $k$ . Con los datos obtenidos en el balance de calor, se pueden expresar las pérdidas de calor en los dos tipos de alambraón en la siguiente forma :

Alambraón de 0.953

$$544\ 200 = 90 A \epsilon_e (T_1^4 - T_2^4) + h_{Ap}(T_1' - T_2)$$

Alambraón de 0.794

$$510\ 800 = 75 A \epsilon_e (T_1^4 - T_2^4) + h_{Ap}(T_1' - T_2)$$

Si se restan miembro a miembro éstas dos ecuaciones, -- se eliminará el término de calor perdido por convección, que es -- el mismo en ambos casos.

$$544\ 200 - 510\ 800 = 90A\epsilon_e(T_1^4 - T_2^4) - 75A\epsilon_e(T_1^4 - T_2^4)$$

$$33\ 400 = 15A\epsilon_e(T_1^4 - T_2^4)$$

Despejando el calor perdido por radiación para cada ba  
rra, se obtiene :

$$A\epsilon_e(T_1^4 - T_2^4) = \frac{33\ 400}{15}$$

$$K_0(T_1^4 - T_2^4) = 2226$$

$$K = 2226$$

Para calcular el valor de k, se substituye K en una de las dos ecuaciones originales. Por ejemplo, para alambrcn de ---- 0.953 :

$$544\ 200 = 90 \times 2226 + h_{Ap}(T_1' - T_2)$$

Despejando el calor perdido por convección :

$$h_{Ap}(T_1' - T_2) = 544\ 200 - 90 \times 2226$$

$$h_{Ap}(T_1' - T_2) = 343\ 860$$

$$k = 343\ 860\ \text{Kcal}$$

Como comprobación, se hará la misma substitución en la ecuación de alambrcn de 0.794 :

$$510\ 800 = 75 \times 2226 + h_{Ap}(T_1' - T_2)$$

$$h_{Ap}(T_1' - T_2) = 510\ 800 - 75 \times 2226$$

$$h_{Ap}(T_1' - T_2) = 343\ 850$$

$$k = 343\ 850\ \text{Kcal}$$

Con lo cual se demuestra que la suposición de que las pérdidas al exterior por convección eran iguales en ambos casos, es exacta.

Cálculo del coeficiente  $f_{FC}$ . Partiendo de la ecuación total de transmisión de calor, se pueden evaluar sus diferentes términos y despejar  $f_{FC}$ .

$$I = A p f_{FC} \left[ \sigma (T_C^4 - T_F^4) + 7(T_C - T_F) \right] + W_G C_{pm} (T_2 - T_1) \\ + W_W C_p (T_2 - T_1) + nK + \frac{A_m}{A} k$$

Como se vé, se tienen conocidos todos los términos que intervienen en la ecuación excepto  $f_{FC}$ ,  $A$  y  $T_C$ . El valor de  $A$  es el área de las barras que está expuesta a la radiación y depende por lo tanto de las dimensiones de la barra. La temperatura  $T_C$  es la temperatura de la masa gaseosa caliente. Esta temperatura es variable a lo largo del horno, siendo máxima en la zona de combustión y mínima en la salida de los gases de combustión. Para los efectos del presente cálculo, la temperatura que se debe usar es la media entre las dos temperaturas límite. Se determinarán a continuación los valores de  $T_C$  y de  $A$ .

La temperatura máxima de la masa gaseosa caliente fué determinada por medio de un pirómetro óptico colocado en la zona de combustión y resultó ser de  $1200^\circ\text{C}$ . La temperatura mínima se midió en la entrada de los gases de combustión a la chimenea y -- fué, como ya se dijo, de  $500^\circ\text{C}$ . La temperatura  $T_C$  será por lo tanto :

$$T_C = \frac{1200 + 500}{2} = 850^\circ\text{C} = 1123^\circ\text{K}$$

El área de las barras expuesta a la radiación depende-

de las dimensiones de las barras y de su disposición. Las dimensiones son : 1.36 m de largo, 10.3 cm de ancho en la base, 7.3 cm de ancho en la parte superior y 10.3 cm de alto.

Las superficies expuestas a la radiación son la cara superior de la barra, las caras de los extremos y una pequeña parte de las caras laterales dada la sección trapezoidal de la barra. Esta última superficie es aproximadamente el 7% de cada una de las caras de la barra. Según esto, la superficie total por barra será :

$$\begin{aligned} (0.073 + 0.103) \times 0.103 &= 0.0161 \\ 1.36 \times 0.073 &= 0.0993 \\ (1.36 + 0.103) \times 0.140 &= \underline{0.0196} \\ \text{TOTAL} & 0.1350 \text{ m}^2 / \text{barra} \end{aligned}$$

Por lo tanto las superficies expuestas en los dos tipos de alambrcn serán :

Alambrcn de 0.953	$0.135 \times 90 = 12.15 \text{ m}^2 / \text{hr}$
Alambrcn de 0.794	$0.135 \times 75 = 10.13 \text{ m}^2 / \text{hr}$

Conocidos ya estos datos, se pueden substituir en la ecuación total. Haciéndolo primero en la de alambrcn de 0.953 y -- con la ayuda de los datos de el balance de energía, se tiene :

$$\begin{aligned} W_{G_{Pm}}^C (T_2 - T_1) &= 304 \ 000 \ \text{Kcal} \\ W_{W_{Pm}}^C (T_2 - T_1) &= 50 \ 800 \ \text{Kcal} \\ nK + k &= 544 \ 200 \ \text{Kcal} \end{aligned}$$



$$1\ 714\ 000 = 12.15 f_{FC} \left[ 4.92 \times 10^{-8} (1123^4 - 288^4) + 7(1123 - 288) \right] \\ + 304\ 000 + 50\ 800 + 544\ 200$$

Despejando  $f_{FC}$  de ésta ecuación, se obtiene :

$$f_{FC} = 0.799$$

Haciendo la misma substitución en la ecuación de alambón de 0.794 :

$$W_{GC_{pm}}(T_2 - T_1) = 265\ 800\ \text{Kcal}$$

$$W_{WC_{pm}}(T_2 - T_1) = 44\ 400\ \text{Kcal}$$

$$nK + k = 510\ 800\ \text{Kcal}$$

$$1\ 500\ 000 = 10.13 f_{FC} \left[ 4.92 \times 10^{-8} (1123^4 - 288^4) + 7(1123 - 288) \right] \\ + 265\ 800 + 44\ 400 + 510\ 800$$

$$f_{FC} = 0.799$$

Es decir, que la relación entre el calor absorbido por el cobre y el calor desprendido por el combustible es la misma en los dos casos, lo cual comprueba el enunciado de el primer capítu lo en el cual se dijo que la emisividad efectiva del horno varía solo con la variación de superficies frías.

Este coeficiente se podrá utilizar para determinar la transmisión de calor con la nueva capacidad del horno, incluyendo el aumento de superficies frías de las barras. Pero, por otro lado, la longitud del horno no será suficiente en éste nuevo caso - puesto que los coeficientes están calculados sobre la base de una

hora. Es decir, las barras aumentan su temperatura hasta 900°C en el transcurso de una hora. Si ahora se desean mantener dentro del horno 100 barras por hora, será necesario aumentar la longitud de la cámara de combustión. Este aumento será proporcional a el aumento en el número de barras. Si la longitud actual es de 9.50 m desde la entrada de las barras hasta la puerta de salida, el aumento será el siguiente :

$$L = \frac{10}{90} \times 9.50 = 0.86 \text{ m}$$

La longitud total modificada será :

$$9.50 + 0.86 = 10.36 \text{ m}$$

Este aumento de longitud afectará el valor de las pérdidas de calor al exterior en el tipo de pérdidas a través de las paredes puesto que, como se vió anteriormente, éstas dependen de el área de transmisión y ésta aumentará al aumentar la longitud del horno. Se calcularán a continuación el área actual y modificada del horno. Como se dijo en el primer capítulo, el horno tiene 2.51 m de ancho, 1.85 m de alto en la entrada de las barras, 2.32 m de alto en la salida. Estas dimensiones incluyen 0.30 m de espesor de ladrillo refractario y por lo tanto quedan reducidas en el interior del horno a 1.91 m, 1.25 m y 1.72 m respectivamente. El área de contacto entre los gases calientes y la pared refractaria a través de la cual fluirá calor al exterior será por consiguiente la suma de las siguientes fracciones :

$$\begin{aligned}
 & \left( \frac{1.72 + 1.25}{2} \right) 9.50 \times 2 = 28.22 \\
 & 1.91 \times 9.50 = 18.13 \\
 & 1.91 \times 1.25 = 2.38 \\
 & 1.91 \times 1.72 = \underline{3.28} \\
 & \text{TOTAL } 52.01 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Se calculará ahora el área que tendrá el horno con la nueva longitud de 10.36 m.

$$\begin{aligned}
 & \left( \frac{1.72 + 1.25}{2} \right) 10.36 \times 2 = 30.78 \\
 & 1.91 \times 10.36 = 19.78 \\
 & 1.91 \times 1.25 = 2.38 \\
 & 1.91 \times 1.72 = \underline{3.28} \\
 & \text{TOTAL } 56.22 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Se repite el cálculo de el área expuesta a la radiación, ahora para las barras de 110 Kg. Según las dimensiones de las barras, que son : 1.36 m de largo, 10.5 cm de ancho en la base, 8 cm de ancho en la parte superior y 10.5 cm de altura, el área será :

$$\begin{aligned}
 & (0.08 + 0.105) \times 0.105 = 0.0192 \\
 & 1.36 \times 0.08 = 0.1087 \\
 & (1.36 + 1.05) \times 0.14 = \underline{0.0203} \\
 & \text{TOTAL } 0.1480 \text{ m}^2 / \text{ barra}
 \end{aligned}$$

Se tienen ahora datos suficientes para determinar la distribución de calor en el horno trabajando a su nueva capacidad.

Considerando primero el alambrcn de 0.953, el balance-será :

ALAMBRCN DE 0.953

Puesto que se van a procesar 100 barras / hr, el áre-atotal de las barras es la siguiente :

$$A_P = 0.148 \times 100 = 14.8 \text{ m}^2 / \text{hr}$$

Las pérdidas al exterior se obtendrán con la ecuación-deducida en el 2° capítulo y los valores de K y k que ya se calcu-laron :

$$q_5 = 100 \times 2226 + \frac{56.22}{52.01} \times 343\ 860 = 593\ 600 \text{ Kcal}$$

Como se desconoce la cantidad de combustible que se vá a utilizar, no se puede saber la cantidad de gases de combusti3n-que se producirá y por lo mismo se ignora el calor sensible que -saldrá con éstos gases; sin embargo, se tiene la relación que hay entre la cantidad de combustible que se quema y la cantidad de ga-ses de combusti3n y de vapor de agua que se producen. Con ésta re-lación es posible expresar el calor sensible que sale con los ga-ses de combusti3n en funci3n de el calor desprendido por el com-bustible.

De acuerdo con el balance de materiales, por cada --- 158.8 Kg de diesel que se queman, se forman 6840 m<sup>3</sup> de gases de - combusti3n secos; además salen 1019 m<sup>3</sup> de vapor de agua. Los calo-res correspondientes a éstas cantidades son, según el balance de-energía :

Diesel	1 714 000 Kcal
Gases de combustión	304 000 Kcal
Vapor de agua	50 800 Kcal

O sea, que el 20.67% de el calor desprendido sale al exterior con los gases y el vapor. Así, la ecuación total de --- transmisión de calor queda expresada en la forma :

$$I - 0.2067 I = A_{FFPC} \left[ 6(T_C^4 - T_F^4) + 7(T_C - T_F) \right] + nK + \frac{Am}{A} k$$

Substituyendo en ésta ecuación los datos obtenidos, se determinará la cantidad de combustible necesaria.

$$I - 0.2067 I = 14.8 \times 0.799 \left[ 4.92 \times 10^{-8} (1123^4 - 288^4) + 7(1123 - 288) \right] + 593\ 600$$

$$I = 2\ 004\ 000\ \text{Kcal}$$

Sabiendo que el poder calorífico bajo del diesel es de 10 790 Kcal / Kg, es posible calcular la cantidad de combustible-necesaria para producir el calor anterior.

$$W_d = \frac{2\ 004\ 000}{10.79} = 185\ 800\ \text{gr} / \text{hr}$$

Y puesto que la gravedad específica del diesel es de 0.857 gr / cm<sup>3</sup>, el volumen de diesel es el siguiente :

$$V_d = \frac{185\ 800}{0.857} = 216\ 800\ \text{cm}^3 / \text{hr} = 216.8\ \text{lt} / \text{hr}$$

También se sabe, por el balance de materiales, que para 100 gr de diesel se necesitan 55.7 moles de aire seco, o sea -

1.616 Kg de aire. En el caso actual se necesitarán :

$$\frac{185\ 800}{100} \cdot 1.616 = 3000 \text{ Kg aire seco / hr}$$

En las condiciones de trabajo, el volumen húmedo del aire es  $1.07 \text{ m}^3 / \text{Kg}$ , luego el volumen por manejar será :

$$3000 \times 1.07 = 3208 \text{ m}^3 \text{ de aire húmedo / hr}$$

Sabiendo por el balance de materiales que se forman -- 52.15 moles de gases de combustión secos por cada 100 gr de combustible, es posible calcular las que se formarán con 185.8 Kg.

$$\frac{185\ 800}{100} \times 52.15 = 96\ 800 \text{ moles / hr}$$

Calculando el volumen en las condiciones actuales de presión y temperatura :

$$96\ 800 \times 0.0224 \frac{760}{585} \times \frac{773}{273} = 7\ 990 \text{ m}^3$$

En la reacción de combustión, por cada 100 gr de combustible se producen 7.777 moles de vapor de agua, por lo tanto el agua que sale en el caso actual es :

$$\frac{185\ 800}{100} \times 7.777 = 14\ 420 \text{ moles / hr}$$

El volumen de éste vapor es el siguiente :

$$14\ 420 \times 0.0224 \frac{760}{585} \times \frac{773}{273} = 11\ 900 \text{ m}^3 / \text{hr}$$

Volumen de aire:

$$\frac{162\,900}{100} \times 1.616 \times 1.07 = 2814 \text{ m}^3 \text{ aire húmedo / hr}$$

Cantidad de gases de combustión :

$$\frac{162\,900}{100} \times 52.15 = 85\,000 \text{ moles / hr}$$

$$85\,000 \times 0.0224 \frac{760}{585} \times \frac{773}{273} = 6\,990 \text{ m}^3 \text{ / hr}$$

Volumen de vapor de agua :

$$\frac{162\,900}{100} \times 7.777 \times 0.0224 \frac{760}{585} \times \frac{773}{273} = 10\,430 \text{ m}^3 \text{ / hr}$$

El calor que sale con el cobre es :

$$q_2 = 12.46 \times 0.799 \left[ 4.92 \times 10^{-8} (1123^4 - 288^4) + 7(1123 - 288) \right]$$

$$q_2 = 834\,000 \text{ Kcal}$$

El calor que sale con los gases de combustión y con el vapor de agua es :

$$q_3 + q_4 = 0.2067 \times 1\,757\,000 = 363\,200 \text{ Kcal}$$

El calor sensible que sale con el cobre es :

$$q_2 = 14.8 \times 0.799 \left[ 4.92 \times 10^{-8} (1123^4 - 288^4) + 7(1123 - 288) \right]$$

$$q_2 = 992\,500 \text{ Kcal}$$

Y el calor que sale con los gases de combustión y el vapor de agua es :

$$q_3 + q_4 = 0.2067 \times 2\,004\,000 = 414\,300 \text{ Kcal}$$

ALAMBRON DE 0.974

El área total de las barras expuesta a la radiación es

$$A_F = 0.148 \times 84 = 12.46 \text{ m}^2 / \text{hr}$$

Cálculo de las pérdidas de calor al exterior :

$$q_5 = 84 \times 2226 + \frac{56.22}{52.01} \times 343\,860 = 557\,800 \text{ Kcal}$$

Aplicando la ecuación deducida para alambrcn de 0.953:

$$I - 0.2067 I = 12.46 \times 0.799 \left[ 4.92 \times 10^{-8} (1123^4 - 288^4) + 7(1123 - 288) + 557\,800 \right]$$

$$I = 1\,757\,000 \text{ Kcal}$$

$$\text{Peso de diesel : } W_d = \frac{1\,757\,000}{10.79} = 162\,900 \text{ gr / hr}$$

$$\text{Volumen de diesel: } V_d = \frac{162\,900}{0.857} = 190\,100 \text{ cm}^3 / \text{hr}$$



Volumen de aire:

$$\frac{162\,900}{100} \times 1.616 \times 1.07 = 2814 \text{ m}^3 \text{ aire húmedo / hr}$$

Cantidad de gases de combustión :

$$\frac{162\,900}{100} \times 52.15 = 85\,000 \text{ moles / hr}$$

$$85\,000 \times 0.0224 \frac{760}{585} \times \frac{773}{273} = 6\,990 \text{ m}^3 / \text{hr}$$

Volumen de vapor de agua :

$$\frac{162\,900}{100} \times 7.777 \times 0.0224 \frac{760}{585} \times \frac{773}{273} = 10\,430 \text{ m}^3 / \text{hr}$$

El calor que sale con el cobre es :

$$q_2 = 12.46 \times 0.799 \left[ 4.92 \times 10^{-8} (1123^4 - 288^4) + 7(1123 - 288) \right]$$

$$q_2 = 834\,000 \text{ Kcal}$$

El calor que sale con los gases de combustión y con el vapor de agua es :

$$q_3 + q_4 = 0.2067 \times 1\,757\,000 = 363\,200 \text{ Kcal}$$

## VI. CONCLUSIONES

A.- Para poder aumentar la capacidad del horno es necesario efectuar las siguientes modificaciones :

- 1.- La longitud del horno debe ser aumentada en 0.86 m
- 2.- La alimentación de combustible deberá ser de ----  
216.8 lt / hr en alambrcn de 0.953 y de 190.1 lt -  
en alambrcn de 0.794.
- 3.- La alimentación de aire ser4 de 3208 m<sup>3</sup> / hr en alambrcn de 0.953 y de 2814 m<sup>3</sup> / hr en alambrcn de 0.794.

B.- Comparación del costo del producto antes y después de hacer la modificación en el número de barras procesadas. Para ello, es necesario conocer el costo de la mano de obra y el costo del combustible, que son los factores que variarán. El precio del combustible es de \$ 0.30 por litro y el costo de la mano de obra es aproximadamente de \$ 537.00 por día. Se calcularán las producciones para los dos tipos de alambrcn suponiendo -- que se trabajan 8 horas diarias durante 25 días cada mes.

Alambrcn de 0.953 :  $9000 \times 8 \times 25 = 1\ 800\ 000$  Kg / mes

Alambrcn de 0.794 :  $7500 \times 8 \times 25 = 1\ 500\ 000$  Kg / mes

El costo por concepto de mano de obra en los dos casos es el siguiente :

$$537 \times 25 = \$ 13\ 425.00$$

Costo del combustible :

$$185.4 \times 8 \times 25 \times 0.3 = \$ 11\,124.00$$

$$162.0 \times 8 \times 25 \times 0.3 = \$ 9\,720.00$$

Costo total, sumando los datos anteriores :

$$0.953 \quad \$ 24\,549.00$$

$$0.794 \quad \$ 23\,145.00$$

Dividiendo éstos datos entre las producciones, se obtiene el costo por Kg de cobre :

$$0.953 \quad \$ 0.0136$$

$$0.794 \quad \$ 0.0154$$

Se calcularán ahora los mismos datos para las producciones que se tendrán con la nueva capacidad del horno :

Producción mensual :

$$11\,000 \times 8 \times 25 = 2\,200\,000 \text{ Kg de cobre}$$

$$9\,240 \times 8 \times 25 = 1\,848\,000 \text{ Kg de cobre}$$

Costo del combustible :

$$216.8 \times 8 \times 25 \times 0.3 = \$ 13\,008.00$$

$$190.1 \times 8 \times 25 \times 0.3 = \$ 11\,406.00$$

Costo total :

$$0.953 \quad \$ 26\,433.00$$

$$0.794 \quad \$ 24\,831.00$$

Costo por Kg de cobre :

$$0.953 \quad \$ 0.0120$$

$$0.794 \quad \$ 0.0134$$

Restando los costos unitarios se tiene el ahorro por -  
Kg de cobre :

$$0.0136 - 0.0120 = \$ 0.0016$$

$$0.0154 - 0.0134 = \$ 0.0020$$

Multiplicando éstos datos por las producciones anuales se determinará el ahorro anual que representará la modificación - proyectada :

$$0.953 \quad 0.0016 \times 2\,200\,000 \times 12 = \$ 42\,240.00$$

$$0.794 \quad 0.0020 \times 1\,848\,000 \times 12 = \$ 44\,352.00$$

A continuación se hará una estimación aproximada de la inversión necesaria, para, comparándola con el ahorro anual, determinar el tiempo de amortización. Para ello, se dispone de los siguientes datos : El costo del acero para la pared del horno es \$ 80.00 por Kg incluyendo gastos de instalación, supervisión, etc y el costo de el ladrillo refractario es de \$ 750.00 por m<sup>2</sup>. Se puede calcular el peso de acero y la superficie de refractario necesaria partiendo de las dimensiones del horno, que son : 2.32 m de alto y 2.51 m de ancho, con un espesor de pared de acero de -- 0.64 cm. La superficie será :

$$2 \times 0.86 \times 2.32 = 3.965$$

$$2 \times 0.86 \times 2.51 = 4.313$$

$$\text{TOTAL} \quad \underline{8.298} \text{ m}^2$$

Multiplicando éste dato por el espesor, se tendrá el - volumen del acero :

$$8.298 \times 10\,000 \times 0.64 = 53\,070 \text{ cm}^3$$

Puesto que la gravedad específica del acero es de ----  
 7.70 gr / cm<sup>3</sup>, el peso del acero es :

$$53\ 070 \times 7.7 = 408\ 000 \text{ gr} = 408 \text{ Kg}$$

Multiplicando éstos datos por los costos anotados anteriormente, se tendrá la inversión necesaria :

$$750 \times 8.298 = 6\ 220$$

$$408 \times 80 = \underline{32\ 640}$$

$$\text{TOTAL } \$ 38\ 860$$

Tomando en cuenta el ahorro anual medio, la amortización es la siguiente :

$$\frac{38\ 860 \times 12}{43\ 296} = 10.8 \text{ meses}$$

## VII. BIBLIOGRAFIA

- 1.- Kern, Donald Q.  
Process Heat Transfer  
McGraw-Hill Book Company, Inc. - 1950
- 2.- Griswold, C.H.  
Fuels, Combustion and Furnaces  
McGraw-Hill Book Company, Inc. - 1946
- 3.- Lewis, Radasch and Lewis  
Industrial Stoichiometry  
McGraw-Hill Book Company, Inc. - 1954
- 4.- Walker, Lewis, McAdams and Gilliland  
Principles of Chemical Engineering  
McGraw-Hill Book Company, Inc. - 1950
- 5.- Perry, John H.  
Chemical Engineers' Handbook  
McGraw-Hill Book Company, Inc. - 1950



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES Y ENSEÑANZA

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES Y ENSEÑANZA

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES Y ENSEÑANZA

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES Y ENSEÑANZA

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES Y ENSEÑANZA

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES Y ENSEÑANZA

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES Y ENSEÑANZA

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES Y ENSEÑANZA

TESIS

1959.

M.

DEL MORAL ALVAREZ

JOSE ANGEL.