

UNIVERSIDAD IBEROAMERICANA  
INCORPORADA A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
FACULTAD DE QUIMICA BERZELIUS

CALCULO Y DISEÑO DE UN HORNO ELECTRICO DE ATMOSFERA  
INERTE PARA EL RECOCIDO DE ALAMBRE DE COBRE

# TESIS PROFESIONAL

ALBERTO CORONA, O.



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 y Diseño de un Horno Eléctrico de Atmósfera Inerte para el Recocido de Alambre de Cobre.**

T E S I S

Que para obtener el título de:  
INGENIERO QUIMICO  
p r e s e n t a :

---

ALBERTO CORONA O.

MEXICO, D. F.

1960

A mi madre,

con todo mi cariño.

A mi abuelita y tios,

con cariño y gratitud.

A Don Luis M. Verrea.

Al señor Ing. Armando Patiño,  
por la dirección de este trabajo.

A los maestros, compañeros y amigos.

S U M A R I O

CAPITULO:		PAGINA:
I	INTRODUCCION	
	A) Preliminares . . . . .	1
	B) Definición de recocido . . . . .	1
II	GENERALIDADES	
	A) Descripción de los procesos de laminado, estirado y recocido . . .	3
	B) Descripción general del equipo . .	6
	C) Descripción de la fuente de energía . . . . .	7
	D) Descripción del refractario . . .	10
III	CALCULO DEL EQUIPO	
	A) Desarrollo de la ecuación general de transmisión de calor . . . . .	12
	B) Dimensiones de la campana y refractario . . . . .	17
	C) Balance de calor . . . . .	21
	D) Cálculo del área de las resistencias . . . . .	34
IV	ESTUDIO ECONOMICO	39
V	CONCLUSIONES	41
VI	BIBLIOGRAFIA	43

## C A P I T U L O   I

### I N T R O D U C C I O N

#### A) Preliminares

Los modernos equipos y máquinas de producción a alta velocidad, presentan innegables ventajas económicas pues aun cuando su costo es considerablemente mayor la alta eficiencia de que gozan hace bajar los costos.

Sus principales características son: menos mano de obra por unidad procesada, recuperación más rápida del capital invertido en materias primas y producto semielaborado, mayor producción en menos espacio, etc.

El presente estudio se refiere al diseño y cálculo de un horno para recocer alambre de cobre al que se le va a suministrar la energía calorífica necesaria para recocer al cobre por medio de resistencias eléctricas y trabajando en una atmósfera inerte producida por gases de combustión, ya que al calentar el material se necesita tener una atmósfera protectora que lo prevenga contra la oxidación.

#### B) Definición de recocido

Al estirar el alambre dentro de la matriz, el cobre se endurece y la resistencia a una deformación posterior incrementa.

La potencia requerida para continuar el estirado aumenta hasta que finalmente la resistencia a la deformación iguala a la resistencia a la fractura y el alambre se romperá con cualquier esfuerzo aplicado posteriormente.

Si se requiere una deformación posterior para obtener el diáme-

tro deseado ó utilizar la máxima conductividad eléctrica, es imperativo - que el metal sea de alguna manera regresado a su condición original, en - lo que respecta a sus propiedades físicas. El proceso por medio del cual se consigue esto, se conoce como recocido.

El cálculo de este horno se efectúa para recocer cobre con una capacidad de 1000 kilos que generalmente se aplicará para cables de tipo especial y de poca producción.



## C A P I T U L O   I I

### GENERALIDADES

#### A) Descripción de los procesos de laminación, estirado y recocido

##### 1.- Laminación

El cobre refinado electrolíticamente se recibe en lingotes los cuales se van introduciendo a un horno continuo, al entrar los lingotes al horno empiezan a calentarse y a medida que van avanzando a través de él, se va aumentando la temperatura hasta que al llegar al final alcanza la adecuada para pasar al proceso de laminación.

La barra ya caliente es extraída del horno y se introduce en el primer paso de laminación y se continúa el proceso disminuyéndose consecutivamente el área transversal de la barra hasta obtenerse el alambre de la medida deseada, por último el alambre se recoge en enrolladores automáticos y se enfría con agua. Con este proceso se ha trabajado a alta temperatura y en presencia de aire, por lo tanto en el alambón se forma una película exterior negra de óxido cúprico que por la parte interior es roja de óxido cuproso para seguir el proceso es necesario eliminar esta película, con este fin se somete a un baño caliente de Acido Sulfúrico que disuelve a la película y eliminando el ácido así como el óxido no desprendido por medio de un chorro de agua a presión.

De ahí se pasa a un baño conteniendo Bitartrato de Potasio que neutraliza al ácido remanente y le proporciona a la superficie exterior del cobre una cubierta protectora que impide la oxidación momentáneamente.

Hasta ahora se ha trabajado el cobre a temperaturas elevadas, obteniéndose por consecuencia el cobre suave. Esto se debe a que se le per-

mite al material un arreglo cristalino ordenado ya que se deforma a una temperatura superior a la temperatura de cristalización del cobre.

## 2.- Estirado o trefilado

El alambón ya limpio se va uniendo por sus extremos para obtener una longitud continua. Dicha unión se hace por medio de soldadura de arco limándose las rebabas con el fin de no alterar el diámetro en la unión. A continuación se introduce la punta superior al primer dado haciéndose pasar por él una longitud suficiente para poder colocar toda la línea de dados en la máquina. Los dados de estirado para calibres gruesos son de acero al tungsteno ya que deben tener una alta dureza y una considerable resistencia al calor y a la fricción.

Elípticamente es en cono pulido al que se le dan unos ángulos que en la práctica son los más adecuados; este cono termina con un cilindro o chuzacera con el que se finaliza la reducción y el diámetro, el cual es el diámetro del alambre al salir del dado.

Para diámetros menores se utilizan conos similares que son de diamante en lugar de ser de acero.

Como el objeto del estirado es el de reducir el diámetro del alambón en pasos sucesivos hasta obtener el alambre deseado, en cada etapa de trefilado se usa un diámetro inferior al anterior.

La operación de estirado es ayudada por medio de una solución lubricante que a la vez disipa el calor producido por la fricción del cobre con el dato. Durante el proceso de trefilado se modifica notoriamente la estructura del cobre obteniéndose éste como cobre duro.

La explicación que se ha dado a esto, es que al trabajar el co-

bre a temperaturas bajas y siguiendo siempre el mismo sentido se disminuye el tamaño de los granos cristalinos orientándolos en relación a un mismo eje, obteniéndose así una formación fibrosa que comunica al material una alta tenacidad y aumenta su dureza, la que es proporcional al porcentaje de reducción en área que se haya efectuado en todo el proceso de estirado.

Los dos procesos descritos anteriormente son los que proceden al recocido y tienen influencia directa sobre él. Los procesos que siguen al recocido consisten en la reunión de unos grupos de alambres o en la aplicación de cubiertas aislantes en las cuales no se modifica la estructura del cobre mas que en una pequeña proporción que es insignificante.

### 3.- Recocido

Como se ha expuesto antes, el cobre al ser sometido a la operación de trefilado cambia sus propiedades endureciéndose; este endurecimiento es acompañado de un aumento en su resistividad eléctrica, lo cual si bien ocupa un lugar secundario en su aplicación en conductores duros, en la primera calidad que se considera para conductores de cobre suave, por lo que hay que restaurar esta condición al material estirado.

Para esto se lleva a cabo el proceso de recocido, también en el caso de que el alambre que se va a estirar sea de un diámetro muy pequeño, se recomienda hacer la operación de trefilado en dos etapas efectuando en tre ellas un recocido, con esto se facilita la segunda etapa evitando rotura de alambre durante la operación y sobreendurecimiento.

En el proceso de recocido debemos considerar los siguientes factores:

- I) Al calentar el material se necesita tener una atmósfera protectora - que lo prevenga contra la oxidación.
  - II) El recocido siempre se efectúa en tres pasos:
    - a) Elevación de la temperatura hasta alcanzar el nivel deseado.
    - b) Mantenición de la temperatura por un cierto tiempo con el fin de - que todo el material por procesar alcance la suavidad deseada.
    - c) Enfriamiento del material hasta alcanzar la temperatura ambiente.
- B) Descripción general del equipo

Todo equipo que se vaya a usar para fines de recocido está provisto de los aditamentos para llevar a cabo la operación de acuerdo con - lo antes expuesto. El equipo en su forma está basado en un horno, ya - - existente, que posee una alta eficiencia y capacidad.

Con el fin de hacer más clara la descripción nos referimos a la figura N° 1. Las bobinas conteniendo cobre se colocan en las vagonetas - "7" las que después de cargadas se cubren con sus respectivas campanas - "1", el medio de calentamiento es por medio de resistencia "1" de las cua - les se hablará con mayor amplitud más adelante, se tienen dos símbolos hi - dráulicos "5" y "6", el primero para elevar las vagonetas con su campana - hasta el horno y el segundo para facilitar las operaciones de carga y des - carga de bobinas colocando las vagonetas a una altura que haga más manua - bles las operaciones, en las vagonetas de la campana se encuentra un ven - tilador "8" que hace circular el gas a través de la campana accionado por el motor "10", el gas entra por el ducto "4" y sale por "9" el cual es un gas inerte que se emplea como atmósfera protectora y que aumenta la con -



ductividad térmica. Este gas es proveniente de una combustión de la mezcla aire-butano con eliminación catalítica del oxígeno para evitar oxidaciones sobre el material. Al empezar la operación se hace descender el émbolo "6" a medida que se van colocando las bobinas habiéndose ya completado la cantidad por recocer se cubre con la campana afirmando los empaques por medio de unos pernos de ajuste. Se traslada la vagoneta hasta la base del horno en seguida se sube por medio del émbolo "5" hasta el horno en donde empieza el ciclo de recocido, en donde se deja el tiempo necesario con su debida temperatura para efectuar el recocido, se baja y se deja enfriar hasta una temperatura de 40 - 50° C. destapándose con el fin de que los empaques de neopreno no sufran la acción prolongada del calor durante el recocido y enfriado; se tiene en la parte superior de la vagoneta una circulación de agua que los enfría continuamente.

El horno a su vez está rodeado por una pared de ladrillo refractario "10" del que hablamos con mayor amplitud más adelante.

### C) Descripción de la fuente de energía

En este horno no usaremos combustible líquido, sólido ó gaseoso, usaremos la energía térmica derivada de la conversión de la energía eléctrica, debido a la facilidad de localizar convenientemente las fuentes de calor y poder tener un control exacto y automático de la temperatura.

En este horno no es de mucha importancia el consumo de combustible ya que es una fracción pequeña del costo total del producto manufacturado y además se tienen las ventajas de limpieza, facilidad de obtención y seguridad de que el cobre no será atacado por el azufre que está conte-

nido en casi todos los combustibles gaseosos, líquidos ó sólidos.

Cuando se hace pasar una corriente a través de un material ya sea metálico ó no metálico, éste se calentará. El grado con que el calor es generado en unidad de tiempo y en unidad de volumen, depende de la densidad de corriente y de la resistencia específica del material, que es llamada resistencia. La temperatura a que alcanza la resistencia depende de la relación entre la generación y absorción de calor.

Las resistencias metálicas pueden ser clasificadas y escogidas de acuerdo con:

- 1º Su composición.
- 2º Método de producción
- 3º Método de protección

En lo que se refiere a su composición, las resistencias que usaremos serán una aleación de 80 % níquel y 20 % cromo, conocida con el nombre registrado de Nichromel que además de soportar temperaturas de hasta 1100° C. son muy durables y tienen buena resistencia a la oxidación.

Según el método de producción las resistencias pueden ser fundidas, laminadas ó entiradas,

Las fundidas que actualmente están casi fuera de uso, son generalmente de gran tamaño de tal manera que cualquier porosidad en oxidación que se forme no produzca variaciones muy grandes en la sección recta; este tipo de resistencia no permite que se les aplique directamente el voltaje de línea haciendo necesario el uso de un transformador.

Las resistencias laminadas tienen forma de listones y las entiradas son alambres, teniendo ambos tipos las mismas características. Es-

cogeremos resistencias de alambre, debido a la facilidad con que son convertidas en espirales, que nos facilitan su aplicación.

Según el método de protección, las resistencias pueden ser desnudas ó con cubierta herméctica, que en nuestro caso no es necesario, debido a que las temperaturas existentes en el horno no son muy elevadas.

Las resistencias se colocarán en la parte interna del horno en tubos de cerámica apoyados en una pared de ladrillo refractario de baja - conductividad, colocados de tal manera que formen una pared interna cilíndrica y formando varios grupos independientes que pueden ser operados a diferentes temperaturas. De esta manera se logra que el material que se está recociendo esté separado por las campanas hechas de material resistente al calor, obteniéndose de esta manera una mejor distribución y uniformidad dentro de la carga.

Para la medición y registro de las temperaturas en el horno y dentro de la campana usaremos termopares que son grupos de dos alambres de metal distintos en nuestro caso Ni - Cr Ni, conectados en ambos extremos, usando las dos uniones se sujetan a diferentes temperaturas, un extremo - en el lugar donde se desea medir la temperatura y el otro a la temperatura ambiente se establece un potencial eléctrico entre ellos.

Este voltaje es casi directamente proporcional a la diferencia de temperaturas y por lo tanto un instrumento de medición de voltaje, colocado en el circuito nos medirá la temperatura. Para no obtener errores en las mediciones, se debe procurar tener un buen contacto eléctrico con los extremos, que se consigue soldándolos, estando el resto de los alambres fijos con algún aislamiento resistente a altas temperaturas, como es el asbesto o tubitos de porcelana refractaria.



#### D) Descripción del refractario

Un refractario es una substancia no metálica que resiste altas temperaturas y es apropiada para usarse en Hornos Industriales en presencia de otras fuerzas destructivas, tales como rápidos cambios de temperatura, ataque por substancias químicas, abrasión y abusos físicos.

Los refractarios comerciales con muy pocas excepciones son óxidos ó combinaciones de óxido de elementos que podemos agrupar en cuatro - grupos:

- 1.- Grupo Sílico - Aluminoso ó Neutro
- 2.- Grupo Silicoso ó Acido.
- 3.- Grupo Básico y
- 4.- Refractarios inertes.

Con objeto de evitar la discusión de cada uno de estos grupos, nos limitaremos a describir la calidad más adecuada para revestir nuestro horno de recocido de alambre de cobre.

La arcilla refractaria de alto rendimiento (highduty Fire clay) que tiene un costo relativamente bajo y buenas propiedades mecánicas cubre satisfactoriamente nuestras necesidades. Posee buena resistencia al abatimiento físico producto de cambios bruscos en la temperatura y es resistente a la abrasión, a las temperaturas a las cuales opera el horno, no desprende gases que puedan contaminar al cobre y como tiene un punto de fusión de 1680° C. no existe problema de ablandamiento a esta temperatura tampoco hay riesgo de que se desintegren los ladrillos, de esta manera se evitan casi totalmente reparaciones, resultando en una producción incrementada que nos reduce el costo por unidad de producto.

La composición del ladrillo es la siguiente:

	Tipo Empire M.	Tipo B2.
Sílice	54.0 %	
Alúmina	37.0	
Oxido de Hierro	1.0	
Oxido de Calcio	0.5	
Oxido de Magnesio	0.0	
Oxido de Titanio	1.0	
Alcalis	1.0	

Este tipo de ladrillo es fácilmente obtenible en el mercado local.

## CAPITULO III

### CALCULO DEL EQUIPO

#### A) Desarrollo de la ecuación de transmisión de calor

Calor absorbido por el cobre

El cobre absorbe calor de las resistencias emisoras por radiación principalmente.

Radiación

Partiendo de la ley de Stefan Boltzman según la cual el poder emisor de un cuerpo negro es directamente proporcional a la cuarta potencia de su temperatura absoluta.

$$W_b = \epsilon T^4$$

$W_b$  = poder emisor del cuerpo.

$\epsilon$  = constante de Boltzman o de proporcionalidad

$T$  =  $T^{\circ}$  absoluta.

$$\epsilon = 5.67 \times 10^{-8} \text{ K cal/m}^2 \text{ hr } (^{\circ}\text{K})^4$$

deducido por Boltzman de la 2ª ley de la termodinámica.

Si por un 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 pueda obtener la siguiente ecuación.

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

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

$A$  = Superficie del cuerpo emisor.

$\epsilon$  = Emisividad del cuerpo.

$T_1$  = Temperatura absoluta del cuerpo emisor.

$T_2$  = Temperatura absoluta del cuerpo receptor.

Sin embargo esta ecuación no se puede usar en esta 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 un factor geométrico que se denominará  $F_{1-2}$  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:

$$Q = A_1 F_{1-2} \sigma (T_1^4 - T_2^4)$$

pero la energía que recibe la superficie  $A_2$  no es únicamente la que 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 esta energía re-radiada incide sobre la superficie  $A_2$ , por lo tanto el factor  $F_{1-2}$  debe ser modificado a un factor  $F'_{1-2}$  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:

$$Q = A_1 F'_{1-2} \sigma (T_1^4 - T_2^4)$$

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 interiores, para incluir estas corrientes se transformará el factor  $F'_{1-2}$  a  $F_{1-2}$  con el cual se obtendrá el intercambio de calor de  $A_1 - A_2$  debido a los mecanismos combinados de radiación directa, re-radiación de las superficies refractarias y reflexiones varias dentro del horno. Si se denomina con los sub-índices  $C$  y  $F$  a las superficies calientes y frías respectivamente se tendrá:

$$Q = A_C F_{C-F} \sigma (T_C^4 - T_F^4) \quad \begin{array}{l} C = \text{caliente} \\ F = \text{frío} \end{array}$$

y puesto que 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:

$$Q = Af \cdot \sigma \cdot T^4 (T_c^4 - T_f^4)$$

considerando  $\epsilon_c$  como el factor de corrección de emisividad tendremos la siguiente ecuación

$$Q = Af \cdot \sigma \cdot \epsilon_c \cdot T^4 (T_c^4 - T_f^4)$$

esta ecuación nos da la ecuación general de transmisión de calor por radiación  $\epsilon_c$  varía según la forma y disposición de las fuentes emisoras de energía, por lo tanto tenemos que deducir su valor.

En nuestro problema tenemos 2 casos los cuales los tenemos que relacionar entre sí para resolver satisfactoriamente el cálculo del horno

1º Radiación entre cilindros concéntricos.

- a) Resistencias            Cilindro exterior
- b) Cobre                    Cilindro interior

2º Radiación entre dos superficies con una pared intermedia.

- a) Resistencias
- b) Campana (pared intermedia)
- c) Cobre.

Si tenemos dos placas paralelas de diferente emisividad los cuales no son cuerpos negros, el intercambio de energía entre ellos será diferente, parte de la energía será absorbida y la remanente será regresada a la fuente de origen.

Si la energía es emitida por una pared (unidad de área) con una velocidad  $E_1$  y emisividad de  $\epsilon_1$  la segunda pared absorberá  $E_1 \epsilon_2$  y re-

flejará 1-e2 la primera pared radiará de nuevo pero:

$$E_1 (1 - e_2)(1 - e_1)$$

Plano caliente

Plano frío

Radiado	$E_1$	$E_2$
Regresado	$E_1(1-e_1)$	$E_2(1-e_1)$
Radiado	$E_1(1-e_2)(1-e_2)$	$E_2(1-e_1)(1-e_2)$
Regresado	$E_1(1-e_1)(1-e_1)(1-e_2)$	$E_2(1-e_1)(1-e_2)(1-e_1)$

$$E_1 = e_1 + T_1^4$$

$$E_2 = e_2 + T_2^4$$

$$\frac{Q}{A} = \frac{(T_1^4 - T_2^4)}{\left(\frac{1}{e_1}\right) \cdot \left(\frac{1}{e_2}\right) - 1} \quad 2$$

Partiendo de la ecuación 2 y considerándola para el 1er. caso de radiación entre dos cilindros tendremos que:

La radiación emitida del cilindro exterior es  $E_1 A_1$  que cae en

$A_2$

$(1-e_2)E_1A_1$  es reflejada por lo cual

$\left(\frac{A_1}{A_2}\right) (1-e_2)E_1A_1$  cae en  $A_1$  y

$\left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right) (1-e_2)E_1A_1$  cae en  $A_2$  si se continúa el análisis tendremos que:

en este caso  $FC = 1$

$$\frac{Q}{A} = \frac{(T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1}{e_1} + \frac{A}{A_2} \left(\frac{1}{e_2} - 1\right)}$$

$$F_e = \frac{1}{e_1} + \frac{A}{A_2} \left(\frac{1}{e_2} - 1\right)$$

pero  $\frac{A_1}{A_2} = \frac{r_1 (2\pi r h)}{r_2 (2\pi r h)}$

$\frac{A_1}{A_2} = \frac{r_1}{r_2}$  que substituímos en la ecuación

$$\frac{Q}{A} = \frac{1}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{r_1}{r_2} \left( \frac{1}{\epsilon_2} - 1 \right)} (\tau_1^4 - \tau_2^4) \quad 3$$

para el caso de radiación entre dos planos con una pared intermedia - volvemos a partir de la ecuación 2

$$\tau_1 \quad \tau_1^1 \quad \tau_2$$

Suponemos que la pared intermedia es un cuerpo negro.

$$\frac{Q}{A} = \frac{1}{\left( \frac{1}{\epsilon_1} \right) + \left( \frac{1}{\epsilon_2} \right) - 1} (\tau_1^4 - \tau_2^4)$$

si:  $\epsilon_1 = \epsilon_2$  y  $\epsilon_1 = \epsilon_1^1$

el cambio de 1-2 será:

$$Q_1 = \frac{1}{\left( \frac{1}{\epsilon_1} \right) + \left( \frac{1}{\epsilon_1} \right) - 1} (\tau_1^4 - \tau_1^{14}) = \frac{1}{\left( \frac{1}{\epsilon_1} \right) + \left( \frac{1}{\epsilon_2} \right) - 1} (\tau_1^{14} - \tau_2^4)$$

de donde:

$$\tau_1^{14} = \frac{1}{2} (\tau_1^4 + \tau_2^4)$$

$$\therefore Q_1 = \frac{1}{\left( \frac{1}{\epsilon_1} \right) + \left( \frac{1}{\epsilon_1} \right) - 1} \frac{1}{2} (\tau_1^4 - \tau_2^4) \quad 4$$

$$\epsilon = 1$$

$$\tau_1 = \left( \frac{1}{\epsilon_1} \right) \cdot \left( \frac{1}{\epsilon_1} \right) - 1$$

substituyendo las ecuaciones 3 y 4 en una sola

$$Q = \frac{\sigma \cdot A \cdot (T_1^4 - T_2^4)}{\left( \frac{1}{\epsilon_1} \right) + \frac{F_1}{F_2} \left( \frac{1}{\epsilon_1} - 1 \right)} \quad 5$$

ecuación total de transmisión de calor por radiación ya que no consideraremos la transmisión por convección ya que es despreciable.

#### B) Dimensiones de la campana y refractario

Se van a trabajar con cargas de 1000 kilogramos de cobre, el material se encuentra invariablemente en bobinas de fierro con una capacidad de 40 kilogramos siendo el peso de cada bobina de 10 kilogramos y sus dimensiones las siguientes:



como vamos a trabajar 1000 kilos podemos tener varias maneras de acomodar dichas bobinas:

1ª Forma      21 bobinas

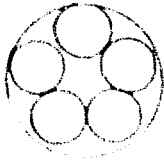
3 filas de 7 bobinas de altura





28 Forma

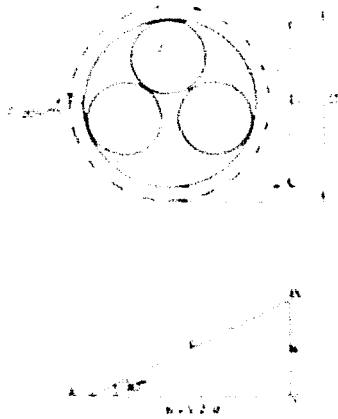
20 bobinas



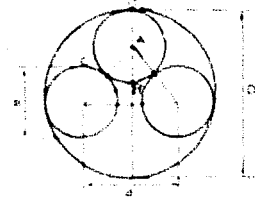
5 filas de 4 bobinas de altura

Calcularemos las dimensiones de la campana para cada caso, con el fin de saber con cuál de las dos formas se obtendrá una campana de menor superficie y por lo tanto la más económica.

18 Forma



El metro necesario de la campana será el del círculo a que se circunscriben las tres bobinas mas una tolerancia de 20 cms. por lado.



$$D = 208 = d + 2b = d + 2c$$

$$D = d + 2 \times \frac{b}{\cos 30^\circ} = d + 2 \times \frac{1}{2} \frac{d}{\cos 30^\circ}$$

$$\text{para } d = 1 \quad ; \quad D = 1 \quad 1/0.866 = 2.155$$

substituyendo:  $d = 0.30 \text{ m.}$

$$D = 2.155 \times 0.3 = 0.65$$

$$D^1 = 0.65 + 0.40 = 1.05$$

$$\text{Altura } h = 7 \times 0.25 + 0.20 = 1.95 \text{ m.}$$

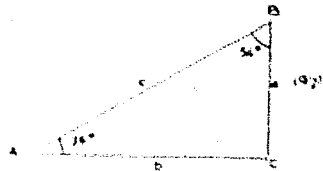
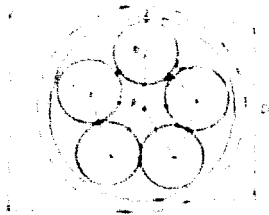
$$\text{Superficie de la campana} = \pi D^1 h + \frac{\pi}{4} D^2$$

$$= \pi (1.05)(1.95) + \frac{\pi}{4} (1.05)^2$$

$$\text{Superficie} = 6.43 + 0.86$$

$$\text{Superficie} = 7.29 \text{ m}^2$$

28 Forma



$$D = 2CA = d + 2AB = d + \frac{d}{\cos 34^\circ} = d + \frac{d}{\cos 54^\circ}$$

$$\text{para } d = 1 \quad D = 2.70$$

$$\text{Substituyendo: } D = 2.7 (0.30) = 0.81$$

$$D^1 = 0.81 + 0.40 = 1.21 \text{ m.}$$

$$\text{y } h = 4 \times 0.25 + 0.20 = 1.20 \text{ m.}$$

$$\text{Superficie} = \pi D^1 h + \frac{\pi}{4} D^2$$

$$= \pi (1.21)(1.20) + \frac{\pi}{4} (1.21)^2$$

$$= 4.56 + 1.14$$

$$= 5.70 \text{ m}^2$$

$$1 = 7.79 \text{ m}^2$$

$$2 = 5.70 \text{ m}^2$$

Como consecuencia concluimos que la forma 2 nos representa una mayor -  
economía por ser menor la superficie de la campana.

Volumen total de la campana

$$V = \pi r^2 h = 0.7854 d^2 h$$

$$V = 0.7854 \times 1.21^2 \times 1.20$$

$$V = 1.40 \text{ m}^3$$

Volumen de gas dentro de la campana

Volumen ocupado por el cobre

$$V = 0.7854 \times d^2 \times h \times n$$

$$\text{Diámetro de la bobina} = 0.30 \text{ m}$$

$$\text{Altura de la bobina} = 0.25 \text{ m}$$

$$\text{Número de bobinas} = 20$$

$$V = 0.7854 \times 0.30^2 \times 0.25 \times 20$$

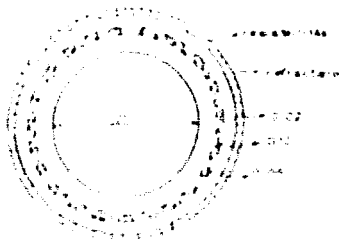
$$V = 0.35 \text{ m}^3$$

Volumen total - volumen ocupado por el cobre = Volumen del gas

$$V = 1.40 - 0.35 \quad V = 1.05 \text{ m}^3$$

Volumen de aire existente entre el refractario y la campana

Las resistencias se enrollarán en una varilla sólida de mate--  
rial refractario, dicha varilla tiene un diámetro de 5 cms., dejando un\_  
margen de 2 cms. hasta el refractario y de 10 cms. hasta la campana



D = Diámetro del refractario

h = Altura del refractario

D = 1.21 + 0.34 = 1.55

h = 1.20 + 0.20 = 1.40

V =  $0.7854 \times 1.55^2 \times 1.40$

V = 2.65 m<sup>3</sup>

Volumen de aire = Volumen del refractario - Volumen de la campana

V = 2.65 - 1.40

V = 1.25 m<sup>3</sup>

### C) Balance de calor

Q1: Calor que producen las resistencias

Q2: Calor que sale con el agua de enfriamiento del escape

Q3: Calor disipado a través del refractario

Q4: Calor que sale con el gas inerte que circula en la campana.

Q5: Calor absorbido por el cobre.

Q6: Calor absorbido por las bobinas de fierro

Q7: Calor absorbido por el aire que se encuentra entre el refractario y la campana.

Q8: Calor absorbido por la campana

Q1 = Q2 + Q3 + Q4 + Q5 + Q6 + Q7 + Q8

Tomando como base las condiciones con que trabajan otros hornos de recocido fijaremos nuestras condiciones de trabajo.

Base 1000 Kg/carga

Calibre (ANG) 6-22

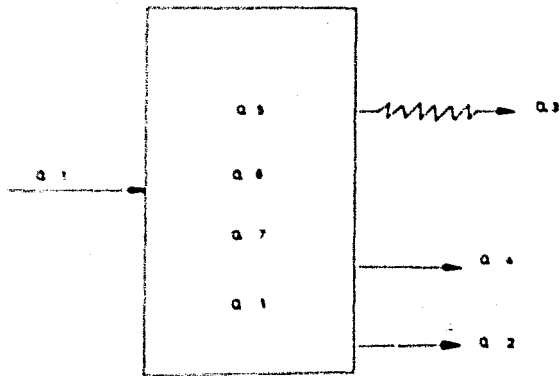


DIAGRAMA EN FLUJO DE CALOR

Temperatura de recocido ( $^{\circ}\text{C}$ ) 450  
 Tiempo de recocido (hrs.) 3  
 Consumo de agua para enfriar los empaques (lts/hr) 60  
 Temperatura media de salida de agua ( $^{\circ}\text{C}$ ) 35  
 Consumo de gas ( $\text{m}^3/\text{hr.}$ ) 10  
 Temperatura media de salida de los gases ( $^{\circ}\text{C}$ ) 150

Calor absorbido por el cobre

$$Q_{Cu} = wC_{pm} (T_2 - T_1)$$

como un mol de cobre pesa 63.54 gr. y se tienen 1000 kilos

$$w = 15738 \text{ moles/kilo}$$

del C.E. Hand Book

$$C_{pm} = 9.44 + 0.01462 T$$

$$T_2 = 450^{\circ}\text{C}$$

$$T_1 = 25^{\circ}\text{C}$$

$$T = \frac{T_2 + T_1}{2}$$

$$T = \frac{(450+25) - (25-273)}{2}$$

$$T = 310.5^{\circ} \text{ K}$$

$$C_{pm} = 12.9 \text{ Kilo calorías/mol Kilo } ^{\circ} \text{ K}$$

$$Q_{Cu} = 15738 \times 12.9 (723-298) = 86953 \text{ Kilo calorías/Ton.}$$

este resultado lo tenemos que dividir entre el tiempo de calentamiento 3 hrs.

$$Q_{Cu} = 28984 \text{ Kilo calorías/hora}$$

Calor absorbido por las bobinas de hierro

$$Q_{Fe} = wC_{pm} (T_2 - T_1)$$

$$C_{pm} = 9.13 + 0.00638 T$$

$$T = 310.5^{\circ} \text{ K}$$

$$C_{pm} = 11.38 \text{ Kilo calorías/mol Kilo } ^{\circ} \text{ K}$$

como se tienen 10 bobinas y cada una pesa 10 kilos se tendrán en total -

200 kilos de fierro y puesto que una mol de fierro pesa 55.85 gramos, por lo tanto tendremos:

$$n = 3561 \text{ moles}$$

$$Q_{Fe} = 3561 \times 7.38(723-298) = 3137 \text{ Kilo calorías/Ton.}$$

Lo dividimos entre el tiempo de calentamiento 3 hrs.

$$Q_0 = 10^{-3} \text{ Kilo calorías/hora}$$

### Calor absorbido por el gas inerte

De un análisis Orsat del gas inerte que inyectamos a la campana obtuvimos los siguientes resultados:

$$CO_2 = 12.3 \%$$

$$CO = 3.3 \%$$

$$H_2 = 3.3 \%$$

$$N_2 = \frac{80.9}{100.0} \%$$

$$C_{p,m} - CO_2 = 10.34 + 0.00274T - 195500/T^2$$

$$CO = 6.60 + 0.00170T$$

$$H_2 = 6.62 + 0.00081T$$

$$N_2 = 6.40 + 0.00100T$$

$$T = 210.5^\circ \text{ K}$$

$$C_{p,m} - CO_2 = 10.98 \text{ Kilo calorías/mol Kilo } ^\circ \text{ K}$$

$$CO = 7.21 \text{ "}$$

$$H_2 = 7.02 \text{ "}$$

$$N_2 = 7.02 \text{ "}$$

Para nuestro cálculo tomamos como base 100 moles de gas

$$Q_{CO_2} = 100 \times 10.98 (723-298) = 467,500 \text{ Kilo calorías/100 moles}$$

$$Q_{CO} = 100 \times 7.21 (723-298) = 306,425 \text{ "}$$

$$Q_{N_2} = 100 \times 7.02 (723-298) = 298.350 \text{ Kilo calorías/100 moles}$$

$$Q_{O_2} = 100 \times 7.01 (723-298) = 297.925 \text{ "}$$

corrigiendo estos resultados por sus respectivos porcentajes tendremos:

$$Q_{CO_2} = 467500 \times 0.0125 = 58437$$

$$Q_{CO} = 306425 \times 0.033 = 10112$$

$$Q_{N_2} = 298350 \times 0.033 = 9845$$

$$Q_{H_2} = 297925 \times 0.809 = \frac{241023}{319.416} \text{ Kilo calorías/100 moles}$$

pero tendremos  $10 \text{ m}^3$  de gas circulante.

1 mol ocupa 22.4 lts. a 760 mm de presión y  $0^\circ\text{C}$  por lo tanto corregiremos por presión y temperatura

$$10 \times \frac{28.5}{760} \times \frac{273}{298} = 6.91 \text{ m}^3$$

en un metro cúbico hay 1000 litros, por lo tanto tendremos 6916 litros

$$1 \text{ mol} = 22.4 \text{ lts} \therefore \times 6916 = \times 308.7 \text{ moles}$$

$$Q_{\text{del gas}} = \frac{319416 \times 308.7}{100} = 986037 \text{ Kilo calorías/hora}$$

$$Q^{\circ} = 986 \text{ Kilo calorías/hora}$$

### Calor absorbido por el aire

$$Q_{\text{aire}} = m C_p (T_2 - T_1)$$

siendo la composición del aire:

$$\text{Nitrógeno} = 79 \%$$

$$\text{Oxígeno} = 21 \%$$

$$C_p \text{ aire} = 0.79 C_p N_2 + 0.21 C_p O_2$$

$$C_p N_2 = 8.37 + 0.000258T = 187700/T^2 = 8.33$$

$$C_p O_2 = 8.44 \text{ Kilo calorías/mol Kilo}^\circ\text{K}$$

$$C_p N_2 = 7.01 \text{ "}$$



$C_p \text{ aire} = 0.79 \times 7.01 + 0.21 \times 8.33 = 7.18 \text{ Kilo calorías/mol Kilo } ^\circ\text{C}$   
 volumen de aire existente entre el refractario y la campana =  $1.25 \text{ m}^3$   
 corrigiendo por presiones y temperaturas tendremos:

$$1.25 \times \frac{585}{760} \times \frac{273}{298} = 0.864 \text{ m}^3$$

en un metro cúbico hay 1000 litros por lo tanto habrá 864 litros

$$1 \text{ mol} = 22.4 \text{ litros} \quad \therefore \quad x \text{ moles} = 864 \text{ litros}$$

$$x = 38.5 \text{ moles}$$

$$Q \text{ aire} = 38.5 \times 7.18(773-298) = 117$$

lo dividimos entre el tiempo de calentamiento 3 horas

$$q_7 = 39 \text{ Kilo calorías/hora}$$

#### Calor absorbido por la campana

$$Q \text{ acero} = w C_p (T_2 - T_1)$$

Sabemos que la superficie de la campana es de  $5.70 \text{ m}^2$  a la cual le fijamos un espesor de  $10.7 \text{ mm}$  ( $0.0107 \text{ m}$ )

el volumen de acero que tendremos será igual a:

$$5.70 \times 0.0107 = 72.390 \text{ dm}^3$$

$$\text{densidad del acero} = 7.78 \text{ gr/cm}^3$$

$$72.390 \times 7.78 = 564.395 \text{ Kilos de acero}$$

$$C_p \text{ acero} = 0.12 \text{ Kilo calorías/kilogramo } ^\circ\text{C}$$

$$Q \text{ acero} = 564.395 \times 0.12 (773-298) = 28733$$

lo dividimos entre el tiempo de calentamiento 3 horas

$$q_8 = 9577 \text{ Kilo calorías/hora}$$

#### Calor que sale con el agua de enfriamiento

$$Q \text{ agua} = w C_p (T_2 - T_1)$$

$$C_p \text{ agua} = 1$$

$T_2$  = temperatura media de salida del agua =  $35^{\circ}\text{C}$

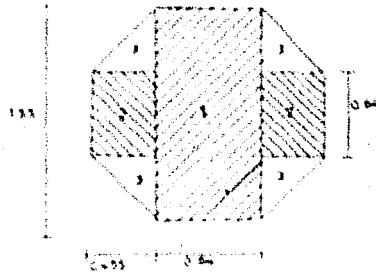
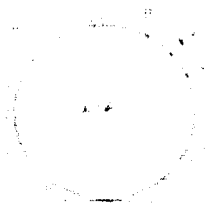
$T_1$  =  $308^{\circ}\text{K}$

$m$  = 60 litros

$Q_T$  =  $10 \times 1 (308-298) = 600$  Kilo calorías/hora

Calor disipado a través del refractario

El refractario para nuestra mayor facilidad de construcción lo haremos en forma de un polígono de ocho lados



Cálculo del diámetro del círculo circunscrito al octágono que forma el refractario.

Las resistencias se enrollarán en una varilla sólida de material refractario, dicha varilla tiene un diámetro de 5 cm, dejando un margen de 5 cm hasta el refractario, y de 10 cm hasta la campana.

$$L = \frac{D}{2} = 2 \times \frac{(D)}{2} \text{ tan } 22^{\circ} 30'$$

$$L = D \text{ tan } 22^{\circ} 30' = 0.417 D \quad D = 1.21 \text{ metros}$$

$$L = 0.417 \times 1.21 = 2 \times 0.10 = 2 \times 0.05 = 2 \times 0.02$$

$$L = 0.04 \text{ metros}$$

Altura del refractario = altura de la campana + 0.20 cm que fijamos de -  
margen

$$\text{Altura del refractario} = 1.20 + 0.20 = 1.40 \text{ metros}$$

$$\text{Area total del refractario} = (1.40 \times 0.64) 8 = 7.168 \text{ m}^2$$

8 = número de lados

Area del techo del refractario: para sacar esta Área dividimos nuestro -  
refractario en varias secciones como se puede ver en la figura ahurada

$$L = 1.40 \times 0.64$$

$$L = 0.90 - 0.64 = 0.64$$

$$L = \frac{0.90}{2} \times 0.64 \times \frac{4}{2} \quad 4 = \text{número de triángulos}$$

$$\text{Area del techo} = 1.936 \text{ m}^2$$

$$\text{Area total} = 7.168 + 1.936 = 9.104 \text{ m}^2$$

Dependiendo del espesor que le queramos dar al aislante vamos a  
calcular el número de tabiques necesarios por metro cuadrado.

	Espesor (cm)		Tabiques/m <sup>2</sup>	Tabiques/m <sup>2</sup>	Tabiques
	Refractario	Aislante	refractario	aislante	Totales
1	11.0		75		790
2	11.5		150		1375
3	12.0		225		2060
4	12.5		300		2747
5	13.0	6.35	375	790	2850
6	13.5	11.43	450	790	2850
7	14.0	16.50	525	1580	3640

Para decidir qué refractario es más económico haremos un balance de costos entre el costo del cambio del refractario suponiendo que lo vamos a cambiar cada dos años mas el costo de la lámina de acero que lo envuelve (0.06" en de espesor = 4") y el costo de la energía disipada a través del aislante y refractario.

Los espesores del refractario, así como los del aislante (material sumamente poroso) y las constantes de dichos materiales son datos suministrados por las compañías manufactureras.

#### PRECIOS DE MATERIALES

Refractario: \$ 1.45 por tabique (nombre comercial Empire)

Aislante : \$ 2.00 lb. dos libras de densidad (caso 5)

\$ 1.00 lb. cuatro libras de densidad (caso 6, 7)

Acero : \$ 4.00 kilo

Energía eléctrica: \$ 0.0198 Kilo caloría/hora

Si el costo del I.M.M. industrial es de \$ 0.17 el costo de la -

kilo caloría/hora = 17/800 = \$ 0.02125

1.- Costo del refractario: número de tabiques - precio

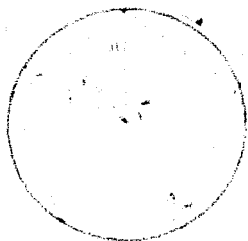
espesor	costo
11.4	\$ 1 382.00
22.8	\$ 2 302.00
34.2	\$ 3 608.00
45.6	\$ 4 807.00
57.0 - 11.4	\$ 4 395.00
68.4 - 22.8	\$ 4 000.00
79.8 - 34.2	\$ 3 970.00

II.- Costo de la plancha de acero:

Para calcular el costo de la plancha de acero tenemos que hacer el cálculo del círculo al que se circunscribe el octágono.

Partiendo de la siguiente base:  $- = \frac{160}{n}$   $n = \text{número de lados}$

Polígono regular de "n" lados  $- = \frac{160}{8} = 45^\circ$



$$R = \frac{a}{2} \operatorname{cosec} \frac{\alpha}{2} \quad (1)$$

$$r = \frac{a}{2} \cot \frac{\alpha}{2} \quad (2)$$

substituyendo (1) en (2)

$$\frac{a}{2} = \frac{r}{\cot \frac{\alpha}{2}} = \frac{R}{\operatorname{cosec} \frac{\alpha}{2}}$$

$$\frac{R}{r} = \frac{\operatorname{cosec} \frac{\alpha}{2}}{\cot \frac{\alpha}{2}}$$

$$\frac{R}{r} = \frac{\operatorname{cosec} 22^\circ 30'}{\cot 22^\circ 30'} = \frac{2.61}{2.41} \quad \frac{R}{r} = 1.08$$

$h = \text{altura del refractario} = 1.40 + \text{espesor (mts)}$

$D = \text{diámetro del refractario} = 1.21 \text{ mts}$

$\rho = \text{densidad del acero} = 7.78 \text{ Kg/cm}^3$

Para todos los próximos cálculos seguiremos la fórmula que a continuación ponemos:

1)  $D + 2(\text{espesor}) \frac{R}{r} = \text{Diámetro del círculo (D')}$

2)  $D' \times h \times b \times \frac{\rho}{4} D'^2 = \text{Area en m}^2$

3) Area (m<sup>2</sup>) x Espesor (mt) x 1000 (dm<sup>3</sup>) = Volumen (dm<sup>3</sup>)

4) Volumen (dm<sup>3</sup>) x Densidad del acero (Kg/dm<sup>3</sup>) = Peso (Kg)

5) Peso (Kg) x Precio (Kg) = Costo (\$)

1.- Espesor 11.4 cm h = 1.40

(1.21 + 2 x 0.114) 1.08 = 1.55 mts

1.55 x 3.1416 x 1.514 x 0.7854 x 2.402 = 9.24 m<sup>2</sup>

9.24 x 0.0063 x 1000 = 58.2 dm<sup>3</sup>

58.2 x 7.7854 = 453.96 Kg

453.96 x 4 = \$ 1 816.00

2.- Espesor 22.8 cm h = 1.40

(1.21 + 2 x 0.228) 1.08 = 1.80 mts

1.80 x 3.1416 x 1.628 x 0.7854 x 3.24 = 11.75 m<sup>2</sup>

11.75 x 0.0063 x 1000 = 74.25 dm<sup>3</sup>

74.25 x 7.7854 = 577.66 Kg

577.66 x 4 = \$ 2 311.00

3.- Espesor 34.3 cm h = 1.40

(1.21 + 2 x 0.343) 1.08 = 2.04 mts

2.04 x 3.1416 x 1.74 x 0.7854 x 4.16 = 14.33 m<sup>2</sup>

14.33 x 0.0063 x 1000 = 90.27 dm<sup>3</sup>

90.27 x 7.7854 = 702.30 Kg

702.30 x 4 = \$ 2 809.00

4.- Espesor 45.7 cm h = 1.40

(1.21 + 2 x 0.457) 1.08 = 2.29 mts

$$2.29 \times 3.1416 \times 1.85 + 0.7854 \times 5.24 = 17.41 \text{ m}^2$$

$$17.41 \times 0.0063 \times 1000 = 109.68 \text{ dm}^3$$

$$109.68 \times 7.7854 = 853.31 \text{ Kg}$$

$$853.31 \times 4 = 3414.00$$

5.- Espesor 34.3 + 6.15      h = 1.40

$$(1.21 + 2 \times 0.406) 1.08 = 2.18 \text{ mts}$$

$$2.18 \times 3.1416 \times 1.80 + 0.7854 \times 4.75 = 16.02 \text{ m}^2$$

$$16.02 \times 0.0063 \times 1000 = 100.92 \text{ dm}^3$$

$$100.92 \times 7.7854 = 785.15 \text{ Kg}$$

$$785.15 \times 4 = 3140.00$$

6.- Espesor 34.3 + 11.43      h = 1.40

$$(1.21 + 2 \times 0.450) 1.08 = 2.27 \text{ mts}$$

$$2.27 \times 3.1416 \times 1.85 + 0.7854 \times 5.15 = 17.24 \text{ m}^2$$

$$17.24 \times 0.0063 \times 1000 = 108.61 \text{ dm}^3$$

$$108.61 \times 7.7854 = 844.98 \text{ Kg}$$

$$844.98 \times 4 = 3380.00$$

7.- Espesor 34.3 + 22.8      h = 1.40

$$(1.21 + 2 \times 0.579) 1.08 = 2.53 \text{ mts}$$

$$2.53 \times 3.1416 \times 1.97 + 0.7854 \times 6.40 = 19.18 \text{ m}^2$$

$$19.18 \times 0.0063 \times 1000 = 122.00 \text{ dm}^3$$

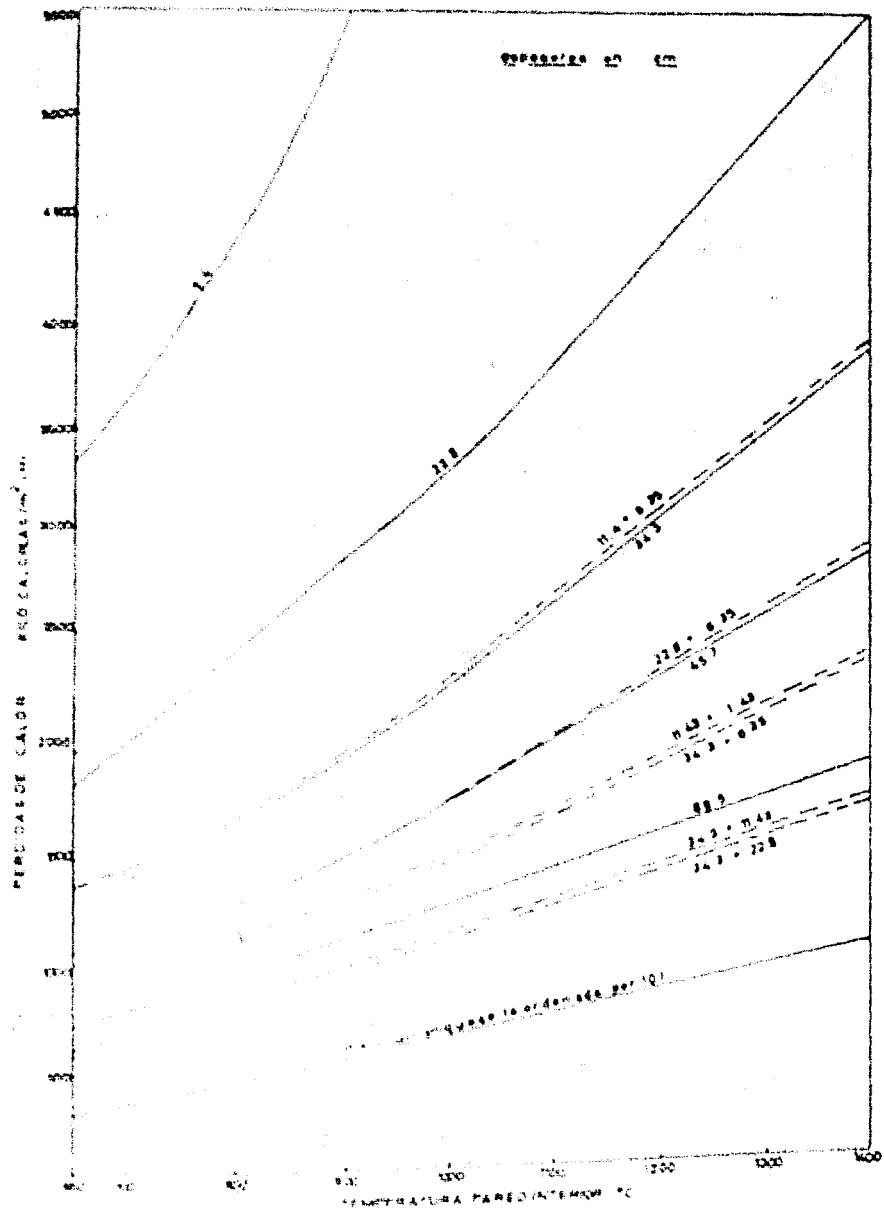
$$122.00 \times 7.7854 = 949.86 \text{ Kg}$$

$$949.86 \times 4 = 3799.00$$

III.- Costo de la energía disipada por año

Para el cálculo de la energía disipada por año lo haremos con -

PERDIDAS DE CALOR A TRAVES DE LAS PAREDES DE LOS HORNOS  
 (PARA HORNOS A LA PRESION ATMOSFERICA)





la ayuda de la gráfica (1) que nos indica las pérdidas de calor a través de las paredes de los hornos, expresadas en Kilo calorías/m<sup>2</sup>/hr.

En dicha gráfica tenemos representado el espesor de las paredes el cual ya lo sabemos y con la temperatura fija de 900° a la cual vamos a trabajar encontraremos las pérdidas de calor.

Esta gráfica sólo es adecuada para hornos que trabajan a presión atmosférica sacada del C.E. Hand Book

	Espesor:	Pérdidas:
1)	11.4	5500 Kilo calorías/m <sup>2</sup> /hr
2)	22.8	3000 "
3)	34.3	2000 "
4)	45.7	1550 "
5)	34.3 - 6.35	1300 "
6)	34.3 - 11.43	1000 "
7)	34.3 - 22.80	950 "

Para el cálculo seguiremos los siguientes pasos:

Kilo calorías/m<sup>2</sup>/hr x año (horas) x Área total x costo de kilo caloría/hr

1)	5500 x 7200 x 9.156 x 0.0198	= \$ 71755
2)	3000 x 7200 x 9.156 x 0.0198	= \$ 39139
3)	2000 x 7200 x 9.156 x 0.0198	= \$ 25730
4)	1550 x 7200 x 9.156 x 0.0198	= \$ 20221
5)	1300 x 7200 x 9.156 x 0.0198	= \$ 16960
6)	1000 x 7200 x 9.156 x 0.0198	= \$ 13046
7)	950 x 7200 x 9.156 x 0.0198	= \$ 12400

Todos los costos obtenidos los vamos a agrupar en forma de ta--

bla para poder determinar económicamente qué refractario nos conviene usar.

Espeesor	Tabiques Totales	Costo del Refractario	Costo Plancha de acero	Costo de Energía	Suma Total \$/año
11.4	790	\$ 1 382	\$ 1 816	\$ 71755	\$ 74 953
22.8	1573	2 302	2 311	39139	43 752
34.3	2060	3 605	2 809	25730	32 144
45.7	2747	4 807	3 414	20221	28 442
34.3 - 6.35	2850	4 395	3 140	16960	26 495
34.3 - 11.43	2850	4 990	3 380	13046	21 436
34.3 - 22.8	3040	5 970	3 799	12400	22 169

Como resultado de esta tabla obtenemos que nuestro aislante más apropiado será aquél que consta de 34.3 cm de espesor de tabique refractario y 11.43 cm de briqueta aislante.

Calor disipado a través del refractario: 1000 Kilo calorías/m<sup>2</sup>/hr.

Si a este calor lo multiplicamos por el área total (9.156 m<sup>2</sup>) tendremos:

$$Q_3 = 9156 \text{ Kilo calorías/hora}$$

Sumando todos los calores obtenidos encontraremos el calor que tendremos que suministrar al sistema por medio de las RESISTENCIAS.

$$Q_1 = Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_8$$

Q <sub>2</sub> =	600	Kilo calorías/hr
Q <sub>3</sub> =	9156	"
Q <sub>4</sub> =	986	"
Q <sub>5</sub> =	28934	"
Q <sub>6</sub> =	1046	"
Q <sub>7</sub> =	39	"
Q <sub>8</sub> =	<u>9522</u>	"
	50390	

$$Q_1 = 50390 \text{ Kilo calorías/hr.}$$

Como margen de seguridad y para que las resistencias no trabajen al máximo vamos a considerar el 20 % sobre los calores totales tendremos que:

$$Q_1 = 55430 \text{ Kilo calorías/hr}$$

D) Cálculo del Área de las resistencias:

Partimos de la ecuación general de transmisión de calor por RADIACION

$$\frac{Q}{A} = \frac{K \cdot (T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{r_1}{r_2} \cdot \frac{(1 - \epsilon_1)}{\epsilon_1}}$$

$K$  = Kte de Stefan Boltzmann : Kilo calorías/m<sup>2</sup> hr ° K<sup>4</sup>

$\epsilon_1$  = Emisividad de las resistencias: adimensional

$\epsilon_1'$  = Emisividad de la campana de acero que rodea a las bobinas, considerada como una placa (acero corrugado): adimensional.

$r_1$  = Radio a las resistencias: metros

$r_2$  = Radio de la circunferencia a la que se circunscriben las bobinas

$T_1$  = Temperatura del cuerpo emisor (resistencias): °C + 273 = °K

$T_2$  = Temperatura media logarítmica tomando las temperaturas de resaca y la temperatura ambiente: °C + 273 = °K

Las emisividades y la constante de Stefan Boltzmann están sacadas del -  
Process Heat Transfer by Donald Q Kern

$$\frac{Q}{A} = \frac{4.97}{0.76 \cdot \frac{0.705}{0.405} \cdot \frac{(1 - 0.97)}{0.97}} \cdot \frac{1}{2} \left( \frac{1173^4}{100} - \frac{578^4}{100} \right)$$

$$\frac{Q}{A} = 31745 \text{ Kilo calorías/hr } m^2$$

con este resultado y el calor producido por las resistencias relacionándolos entre sí encontraremos el área que necesitan las resistencias para su administrar el calor al sistema.

$$Q_1 = 55430 \text{ Kilo calorías/hr}$$

$$A = \frac{55430}{31745} = 1.75 \text{ } m^2$$

### Cálculo del Área transversal de las resistencias

Partiendo de la fórmula:

$$H = 0.24 \text{ FT}$$

H : cantidad de calor en Kilo calorías

F : efecto Joule en Kilo Watts

T : tiempo en segundos

considerando que el calor será absorbido en 3 horas que es el ciclo de recocido para el alambre de cobre.

$$H = 55430 \text{ Kilo calorías/hora}$$

$$F = \frac{55430}{0.24 \times 3600} = 64 \text{ Kilo Watts}$$

dividiremos el suministro de calor en dos zonas iguales de 32 Kilo Watts\_ cada una, que operen independientemente y que las conectaremos en Delta

Aplicando la fórmula tendremos que:

$$I = \frac{1000 \text{ KW}}{1.75 \times E \times \text{pf}}$$

I = Intensidad en Amperes

E = Tensión en Volts = 110 Corriente\_ alterna

pf = Factor de potencia (1 por tratarse sólo de resistencias)

KW = Kilo Watts

Sacada del Technical Data de Amazonia Wire & Cable Company.

La corriente que tenemos es trifásica de 110 Volts

$$I = \frac{1000 \text{ KW}}{1.73 \cdot 110 \cdot 1} = 168 \text{ Amperes}$$

para encontrar el valor de las resistencias:

$$P = I^2 R$$

$$P = 10000 \text{ Watts}$$

$$I^2 = 28224 \text{ Amperes}$$

$$R = \frac{P}{I^2} = \frac{10000}{28224} = 0.354 \text{ Ohms/fase/Zona}$$

$$R = \rho \cdot \frac{L}{At}$$

R = resistencia en ohms

$\rho$  = resistividad volumétrica en  $\frac{\text{Ohms} \cdot \text{Metro}}{\text{mm}^2}$

L = longitud en metros por fase

At = sección transversal en  $\text{mm}^2$

Por otra parte tenemos:

RESISTENCIAS

RESISTENCIAS

RESISTENCIAS

Resistencias enrolladas

en el refractario

Radiación directa = 50% de la superficie

Re-Radiación = 15% de la superficie

se considera que la superficie de la resistencia que da de frente a la cámara tiene un área 100% radiante o sea 50% de la superficie total exterior y que la parte de la resistencia que da hacia el refractario sólo

emite un 30 % de la energía hacia la campana

$$b = 5 \text{ cm}$$

$$St = \text{Área transversal} = a \times e$$

$$L = \frac{a}{\text{sen } \alpha}$$

$$Sr = \text{Área de radiación} = \frac{a}{\text{sen } \alpha} \quad b \times 1.3$$

$$\alpha = \text{ángulo cuya tangencia es} = \frac{da}{\text{paso}}$$

$$da = b \cdot e$$

$$\text{sen } \alpha = \frac{1}{\text{paso}}$$

$$\text{Superficie emisora} = 100 \% \cdot 30 \% = 1.3$$

Se colocaron 6 hileras de varillas refractarias por zona lo que equivale a 2 hileras por fase por lo que:

$$L = 2 \times 3 \times 0.64 \times \frac{1}{\text{paso}} = 10.24 \text{ sen } \alpha$$

$$\text{número de hileras} = 2$$

$$\text{lados del octágono} = 3$$

Fijamos el paso en 50 mm y suponemos un espesor de 2 mm para el cálculo del diámetro medio

$$Da = 50 + 2 = 52 \text{ mm}$$

$$\tan \alpha = \frac{52}{50} = 1.04$$

$$L = 10.24 \times 1.28 = 13.16 \text{ m}$$

$$St = \pi \sqrt{\frac{L}{R}} = 1.1 \frac{13.16}{1.14} = 11.54 \text{ mm}^2$$

$$S_1 = \frac{2.14}{0.001} = 1.3 = 1.75 \text{ m}^2 \text{ Área de radiación}$$

$$S_2 = \text{Área de cada tira} = 1.75 \text{ m}^2/\text{st}$$

$$n_1 = \text{número de tiras por lados} = 12 \times 8$$

$$S_2 = 0.018 \text{ m}^2 = 18000 \text{ mm}^2$$

Área de cada tira 100 % radiante al exterior pero como en realidad no tenemos 100 % sino solamente 80 % del área total, por lo tanto:

$$\text{Área necesaria} = \frac{18000}{0.80} = 22500 \text{ mm}^2$$

$$\text{Ancho de cada cinta} = \frac{22500}{840 \times 1.25} = 27.58 \text{ mm}$$

$$\text{Espesor de } \dots = \frac{0.1}{11.54} = \frac{11.54}{11.54} = 0.91 \text{ mm}$$

#### Equipo Complementario

Necesitamos para la circulación del gas inerte dentro de la cam para un ventilador con las siguientes características:

Del catálogo de la Buffalo Forge Company, Ventilador de 25 cm. de diámetro que trabaje a 1650 rpm para producir una presión de 14 pulg. de agua el cual consume una potencia de 1/4 de Caballo

## CAPITULO IV

### ESTUDIO ECONOMICO

En el presente capítulo se presenta la estimación de los costos del equipo, incluyendo los aditamentos y accesorios.

Caja del horno con refractario	\$ 14 600.00
Platón hidráulico para 3000 kg	\$ 5 050.00
Bomba de aceite	\$ 5 100.00
Campañas de acero (2)	\$ 26 500.00
Tablero de control para dos zonas	\$ 13 700.00
Registrador de temperatura	\$ 4 600.00
Hieles y cambio	\$ 16 000.00
Plataforma hidráulica de carga	\$ 11 400.00
Barrucha	\$ 6 400.00
Generador de gas	\$ 60 000.00
Instalación y montaje	\$ 16 000.00
<b>SUMA TOTAL:</b>	<b>\$ 179 350.00</b>

Depreciación del equipo:

Consideramos una depreciación total del equipo por 10 años.

La inversión fija es de \$ 179 350.00

aplicaremos la siguiente ecuación:

$$S = P (1 + i)^n \quad \text{de donde:}$$

S = Depreciación del equipo

P = Inversión fija

i = interés anual

n = número de años

$$S = 179 350 (1 + 0.04)^{10}$$



S = 266838

La carga diaria por depreciación será:

$$\frac{266838}{10 \times 360 \times 3} =$$

\$ 24.70 por tonelada

10 = número de años

360 = días por año

3 = toneladas diarias

Costo de la energía

Kilo Watts (KW) Número de horas

Kilo Watt = \$ 0.17

\$ 32.64

Mano de obra

\$ 30.00

Costo de mantenimiento:

costo de refractario cada dos años - \$4990

toneladas por dos años por número de años - 3600

$$\text{Costo} = \frac{4990}{3600}$$

\$ 1.30 por tonelada

Consumo de agua 60 lts / hora

1440 litros por día 3 toneladas

metro cúbico = \$ 0.039

\$ 0.02 por tonelada

Consumo de gas Butano

400 Kilos / 25 días / 3 toneladas

Kilo de gas = \$ 0.42

\$ 2.24 por tonelada

COSTO DIRECTO DE MANUFACTURA

\$ 90.98 por tonelada

## C A P I T U L O V

### CONCLUSIONES

Con el presente estudio llegamos a las siguientes conclusiones:

Para recoger 1000 kilos de cobre colocados en bobinas de 50 kilos necesarios:

#### a) CAMPANA

Altura de la campana . . . . .	1.20 m
Diámetro de la campana . . . . .	1.21 m
Superficie de la campana . . . . .	5.70 m <sup>2</sup>
Separación entre la campana y las resistencias . . . . .	0.010 m
Diámetro de la varilla que soporta a las resistencias . . . . .	0.005 m
Separación entre las resistencias y - el Refractario . . . . .	0.002 m

#### b) REFRACTARIO

Altura del Refractario . . . . .	1.40 m
Espeor del tabique Refractario . . . . .	0.0343 m
Espeor de la Briqueta Aislante . . . . .	0.01143 m
Espeor total del Refractario . . . . .	0.04473 m
Superficie del Refractario . . . . .	9.156 m <sup>2</sup>

#### c) RESISTENCIAS

Area de las resistencias necesarias - para suministrar calor al sistema . . . . .	1.75 m <sup>2</sup>
Ancho de la cinta (resistencias) . . . . .	27.58 mm
Espeor de la cinta (resistencias). . . . .	0.41 mm

Longitud por fase . . . . . 13.16 m

d) EQUIPO ADICIONAL

Ventilador de 25 cm. de diámetro que  
trabaja a 1653 r.p.m. con una potencia  
de 1/4 de caballo . . . . .

e) PARTE ECONOMICA

La inversión fija será de . . . . .	\$ 179 350.00
Carga diaria por depreciación . . . . (calculando que el equipo se deprecia en 10 años)	\$ 24.70/ton.
Costo directo de manufactura . . . .	\$ 90.80/ton.

Con estos datos nos damos cuenta que:

Ocupa poco espacio el horno.

La producción no depende de la habilidad del operador.

Pocos paros en el funcionamiento debido a mantenimiento.

Consumo de energía no muy elevado.

Economía continua con el uso de las 2 campanas para recoger.

## C A P I T U L O   V I

### BIBLIOGRAFIA

- G. BROWN:                    Operaciones Unitarias  
                                  Manuel Marín y Cía. 1955.
- GRISWOLD:                    Fuels Combustion and Furnaces  
                                  Mc Graw Hill 1946.
- D.Q. KERN:                    Process Heat Transfer  
                                  Mc Graw Hill 1950.
- A.E. KNOWLTON:                Manual Estandar del Ingeniero Electricista. Manuel Marín y Cía. 1955.
- J.H. FERRY:                    Chemicals Engineers Hand Book.  
                                  Mc Graw Hill 1950.
- H.F. KASE & M.H.  
BARROW:                    Project Engineering of Process Plant  
                                  John Wiley & Sons 1957.
- STON VER:                    Applied Heat Transmission  
                                  Mc Graw Hill 1941.
- WALSH:                        Refractories Hand Book  
                                  Refractories Company 1959.
- ASTM:                         Non- Ferrous Metal Specifications  
                                  Technical Data 1954.
- ANACONDA WIRE & CABLE  
CO.                             Buffalo Forge Company 1949.
- PAN ENGINEERING:

- - - - -