

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE GUADALAJARA
INCORPORADA A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

B. Linganias.



**CARBURO DE CALCIO
EN GUADALAJARA**

TESIS

GUILLERMO MORENO CASTAÑEDA

GUADALAJARA, MEX.,
DICIEMBRE DE 1943.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE GUADALAJARA
INCORPORADA A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

CARBURO DE CALCIO EN GUADALAJARA

T E S I S

QUE PRESENTA EL SR.

GUILLERMO MORENO CASTAÑEDA

PARA OBTENER TITULO DE

INGENIERO QUIMICO

GUADALAJARA, MEX.,
DICIEMBRE DE 1943.

*A los esfuerzos de mi madre
la señora Felicitas Castañeda
Vda. de Moreno.*

SUMARIO:

- I.—PREAMBULO.
- II.—MATERIA PRIMA.
- III.—ENERGIA ELECTRICA.
- IV.—EQUIPO ELECTRICO.
- V.—PROCESO GENERAL.
- IV.—HORNOS Y TIPOS.
- VII.—ELECTRODOS.
- VIII.—MATERIAL REFRACTARIO.
- IX.—PERDIDA Y BALANCE DE CALOR.
- X.—PRODUCCION.
- BIBLIOGRAFIA.

I.- P r e á m b u l o

H A C I A el poniente de la Ciudad, no lejano del lugar en donde confluyen las carreteras de México y Nogales, se levantan los edificios de una gran fábrica, de cuyos hornos, de incansable producción continua, sale el carburo de calcio destinado a abastecer las necesidades industriales del País.

Los técnicos que dirigieron la instalación pretendían ceñirse escrupulosamente a los planos levantados de antemano con sujeción a las normas reveladas por la teoría. Con gran sorpresa de su parte, comprobaban todos los días que la práctica encierra caprichos que la doctrina ignora, y que era menester introducir a los proyectos de origen rectificaciones exigidas por los propios hechos y sobre todo porque la aplicación directa de estos principios, constituye siempre un caso diferente que requiere condiciones especiales.

Asistí al desarrollo de los trabajos. Sorprendido por esa aparente discrepancia entre las teorías y la realidad, me propuse escribir la tesis que ahora ofrezco a mi Facultad. Más que descubrir, por lo mismo. nuevas fases de esta rama de la producción industrial, pretende poner en claro los datos descubiertos por la observación y estudio directos de los hechos.

II.- Materia Prima

Usanse: óxido de calcio, este material conviene que no prevenga de una caliza no menor de 95-96- de carbonato de calcio, ya que las impurezas pasan al carburo gastándose en estas corriente eléctrica. En cuanto a las propiedades químicas de la cal; antiguamente deberían tenerse mas escrúpulos, ya que el carburo que era usado para el alumbrado; no debía tener más de 0.006% de fósforo; 0.007% de arsénico; los óxidos de manganeso y aluminio dan lugar a las formaciones de escorias; del anhídrido silícico puede aceptarse hasta el 5 o 6% si no están presentes los anteriores óxidos, este se reduce a silicio metálico o se combina con el hierro. El fósforo y arsénico dan lugar al formar el acetileno a fosfomina el primero y a arsemina el segundo, uno explosivo y el otro tóxico.

El análisis del carbonato de calcio usado en la fábrica es el siguiente:

CaCO ₃	96.50%
MgCO ₃	1.01%
Al ₂ O ₃	0.85%
FeCO ₃	0.54%
SiO ₂	0.33%
SO ₃	0.072%
P ₂ O ₅	0.007%
<hr/>	
TOTAL DETERMINADO	99.309%

Esto es en cuanto a la cal, pero respecto al otro

material componente del carburo: el Carbón, puede ser de origen vegetal o mineral, usándose indistintamente uno del otro y algunas veces mezclados; el carbón vegetal tiene el inconveniente de ser muy mal conductor de la electricidad, por tener poco carbón fijo (55 a 67%) por lo tanto bajo rendimiento aunque el producto dá un acetileno mucho más puro, pero se encontró que no es muy práctico el uso de carburo de esta procedencia en generadores de acetileno. En este material se admiten mayor cantidad de impurezas debido a que en el proceso se volatilizan, así se admite hasta 0.01 a 0.02% de fósforo, el carbón conviene que no tenga más de 10% de cenizas.

El carbón usado en la fábrica tiene el siguiente análisis:

Cok Standard:

Fósforo	0.007%
Cenizas	20.100%

Puede decirse en general de las materias primas que actualmente ya no tienen que ser tan puras ya que la mayoría del carburo se destina a la industria y no a usos domésticos como antiguamente. No deben contener mucho polvo ni humedad, por lo que se requiere que las empresas tengan a su proximidad la fabricación de su óxido de calcio.

El material reaccionante deberá ir quebrado a un tamaño aproximado de seis centímetros.

III.- Energía Eléctrica

Considérase a esta como materia prima ya que su consumo es considerable, siendo uno de los factores principales que afectan el precio del producto, un pequeño aumento resultaría decisivo para la industria.

La fuente de energía eléctrica de más bajo costo, es la que proviene de la transformación de la energía hidráulica en eléctrica por dinamos; estos también pueden ser movidos por motores de combustión o de vapor o por medio de turbo-generadores, que su aplicación depende de cada caso particular.

Los dinamos o generadores de corriente, pueden ser de corriente alterna o directa, aquella puede ser monofásica o trifásica de alta o baja tensión, puede ser también de alta o baja frecuencia, teniendo esto mucha influencia en el factor de potencia.

La corriente continua no presenta desplazamiento de fase por lo que su factor es siempre uno, permitiendo elevada carga de amperios con baja tensión. En la alterna se deja sentir asincronismo, que puede darse ahora por eliminado, ya que se sabe perfectamente que no es un factor que limite la capacidad del horno como antiguamente se creía, pero sí limita la cantidad de wats necesarios por kg. de carburo, ya que a un menor factor de potencia (P. F.) se necesita mayor cantidad de K.W. por un lado; por otro el voltaje debe ser mayor para una misma cantidad de corriente ya que la impedencia aumenta.

El factor de potencia (P. F.) podemos definirlo como la relación de los vatios al producto de voltios-amperios; o sea el coseno del ángulo de desfase ($\cos \epsilon$)

que es el ángulo que existe entre la tensión y la intensidad. Este ángulo que forma tensión e intensidad es debido a los efectos capacitativos o inductivos del circuito, pudiendo según el caso adelantarse o atrasarse el voltaje a la corriente.

Siendo la potencia igual al producto de $I \times E$, la potencia real no corresponde exactamente a este producto puesto que si tomamos como base por ejemplo: el amperage no estando en fase con el voltage, debemos descomponerlos en dos vectores: uno en fase que llamaremos corriente energética o corriente con watios y cuyo valor por I nos daría realmente los watios. El otro vector perpendicular al voltage llamado amperage en cuadratura o corriente sin watios y cuyo producto por el voltage no producirá trabajo útil, pero sí haría consumo a la línea.

Los medidores eléctricos registran los K. W. de consumo basados en la corriente energética, por tanto los watios perdidos en la corriente en cuadratura no los paga el consumidor y constituyen una pérdida para la compañía abastecedora de corriente. Es por esta razón que en casos como el presente de Hornos Eléctricos en que el factor de potencia es muy alto, particularmente al que me refiero que puede trabajar con un P. F. de más de 90, aunque en la actualidad lleva un record no mayor de 90, debido a que el registro aún está influenciado por las primeras prácticas que fueron muy irregulares. El cliente ahorra a la compañía energía y este ahorro se traduce en el establecimiento de tarifas especiales (algunas veces de 2 a 3 centavos por K. W. H.) en las que se toma el mayor aprovechamiento de la energía o sea el mayor Factor de Potencia.

La corriente alterna, presenta la ventaja sobre la directa de que puede ser transformada de alto a bajo voltaje y de bajo amperaje a alto, dando por consecuencia un gran ahorro en el costo de los conductores ya que estos (la sección) son proporcionales al amperage, por un lado, y por otro, que se evitan las pérdidas por efecto Joule.

En nuestro caso al salir del transformador los conductores sin rieles están formados por placas de cobre que tienen unas dimensiones de 9.5 mm. de grueso por 253.0 mm. de anchas, por lo tanto; como son ocho iguales tendremos:

$$8 \times 9.5 \times 253 = 19228 \text{ mm}^2 \text{ de sección}$$

Como pasarán por ellos una carga máxima de 15000.00 amperios estarán con una carga de:

$$\frac{15000}{19228} = 0.78 \text{ ampers/mm}^2.$$

A las placas están conectados para llegar al horno unos cables también de cobre (ocho) formados por una infinidad de alambres torcidos y sumamente delgados para dar flexibilidad, teniendo estos la siguiente sección:

$$3.14 \times D. \text{ de los cables } 31.8 \text{ mm.}$$

$$\text{Area de los mismos } 31.8 \times 0.7854 = 794.23 \text{ mm}^2$$

$$\text{Como son ocho } 794.23 \times 8 = 6353.84 \text{ mm}^2$$

Tendrán una densidad de corriente de:

$$\frac{15000}{6353.0} = 2.35 \text{ amperios/mm}^2$$

Como se vé claramente se permite mayor densidad en los cables que en las placas porque aquellos disipan mejor el calor; las placas están pegadas una al lado de la otra.

Como la corriente directa fluye en un solo sentido hace que los carbones que sirvan de electrodos en el horno se desgaste más en el positivo debido a que los átomos pasarán de este al negativo solamente, lo que no pasa con la corriente alterna.

La corriente trifásica que es la que tiene mayor uso comercialmente, también en nuestro caso tiene la ven-

taja que un mismo conductor que si el circuito fuera monofásico puede conducir mayor energía eléctrica.

De lo dicho anteriormente se deduce que: Se usará corriente alterna trifásica, ya que aunque presentará ventajas, la directa, no se podría emplear porque debería producirse en dinamos grandes muy costosos debido a que se usan grandes intensidades.

IV- Equipo Eléctrico

Un transformador, que recibe la corriente de 20000 voltios para transformarla a 150 voltios como máximo, y un amperaje hasta de 1500.00 amperios, este transformador tiene una capacidad de 3000 K. V. A. conectado en delta, la corriente así transformada sale por unas placas de cobre con terminales de plata donde se conectan los cables flexibles que llevan la carga eléctrica a los tubos también con terminales de plata, estos tubos dejan la corriente en el porta electrodo pasando por el interior agua de refrigeración.

MOTORES.—Todos estos de tipo especial para la industria del carburo de calcio, tienen ventilación a través de chaquetas que impiden que el aire esté en contacto por chispas eléctricas para impedir explosiones producidas por el acetileno formado con la humedad del aire. Los motores encargados del movimiento vertical de los electrodos son de corriente continua producida por un motor-generador; estos motores tienen la ventaja de ser fácilmente regulable su velocidad. Además tienen la particularidad de tener unas zapatas en la flecha que están accionadas por medio de unos transformadores en serie con el motor, que al cortar la corriente el núcleo del transformador es soltado y el motor fenado.

TABLERO.—Un indicador del factor de potencia, tres kilos-amperímetros, unos para cada fase, teniendo un transformador de corriente conectada a la salida de cada fase del transformador general, estos tienen un factor ya conocido y traducido en la carátula del medidor,

(de no hacerlo así el medidor tendría que ser calculado para resistir toda la carga) tres switches, uno para cada fase y otro general, los relais que están conectados con los motores de los porta electrodos, estos relais se encargan de llevar el control del voltage y amperage; un watímetro que consiste de un amperímetro y voltímetro en el mismo aparato; un contador de K. W. H., y además un contador-inscriptor donde se marcan los K. W. en gráfica contra al tiempo.

Aunque los electrodos pudieran considerarse entre el equipo eléctrico, de éstos extensamente más adelante hablaré.

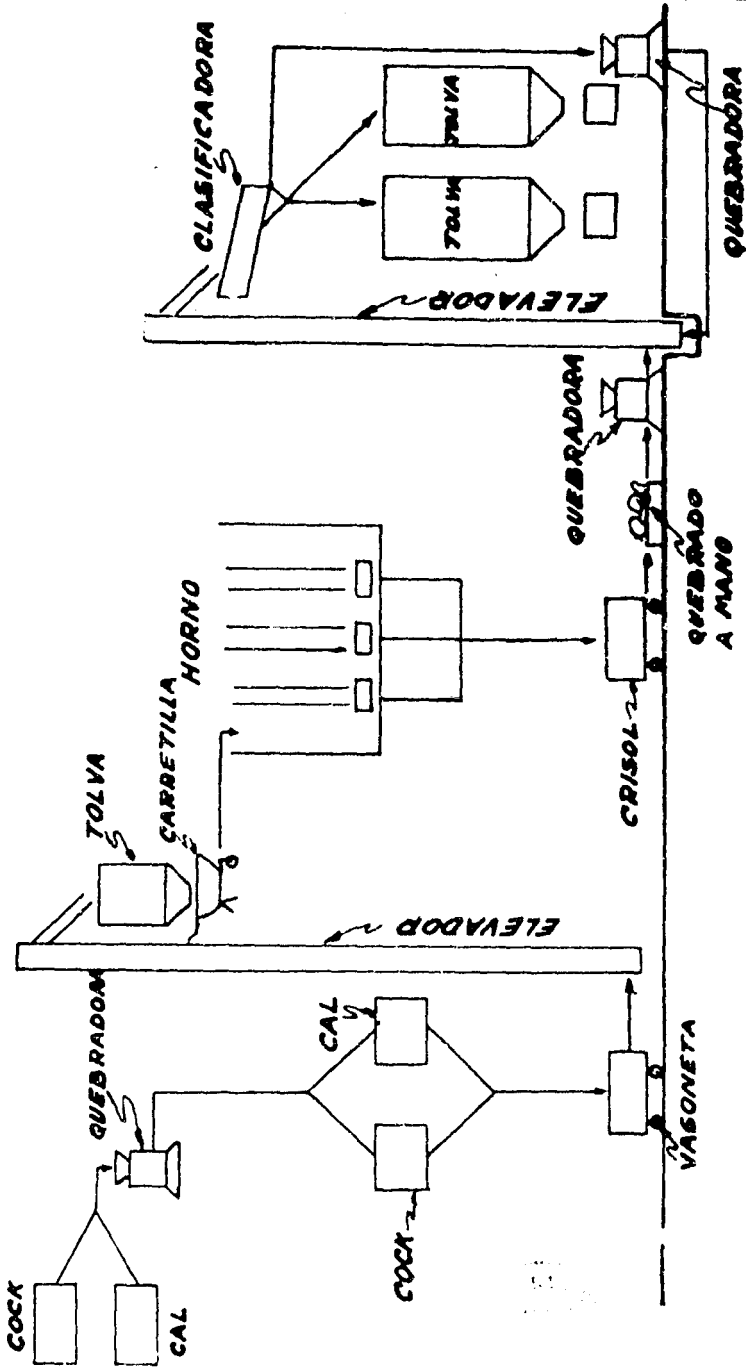
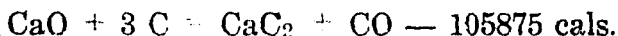


DIAGRAMA DE FLUJO.

V.- Proceso General

La reacción química que tiene lugar, es en extremo sencilla teóricamente:



Condiciones de la reacción: llévese a cabo solamente a los 1500°C. siendo hasta los 1500°C. reversible habiendo quien asegure que aun a los 2000°C. la reacción tiene lugar hacia la izquierda aunque en poca proporción, de esta temperatura en adelante la reacción es hacia la derecha, siendo la rapidez de la reacción proporcionalmente a la temperatura, llegando a descomponerse el producto a las altas temperaturas superiores a 3000°C.

Entran al horno los materiales reaccionantes después de haber sido quebrados a un tamaño de 6 ctms. y burdamente mezclados en las proporciones convenientes, previamente experimentadas, los materiales ya pesados son conducidos por unos carros en vía Decouville a un conductor de tubos para ser subidos a la tolba que está en el segundo piso donde se encuentra la boca por donde es cargado el horno, esta carga se hace por medio de carretillas de mano intermitentemente. El Horno trabaja completamente lleno. En la planta baja se encuentran las puertas de sangría del horno siendo estas tres, utilizándose por lo general solamente la de enmedio; esta operación se verifica cada hora obteniendo purgas de 500 a 600 Kgs. El producto es recibido en carros enfriadores, ya semi-frío es cragado y quebrado a marro para alimentar la quebradora de quijas, de aquí va por un transportador a un separador tipo TOMMEL. El producto no se

leccionado aquí pasa a un molino centrífugo de anillos, yendo luego a un seleccionador SHAKING SCREEN, saliendo cuatro productos de finura diferente colectados en sus respectivas tolbas para llenar los embases que están sobre una plataforma de una báscula que automáticamente registra el peso.

El proceso del Horno puede considerarse como semicontínuo si se toma como base para definirlo la carga y descarga; pero tomando en cuenta la constancia del foco calorífico y la continuidad de la reacción, se dirá que es HORNO CONTINUO, ya que estas son las causas determinantes en el proceso.

Por la reacción química se ve que la proporción estequiométrica es:



Así que considerando una toneda de carburo Q. P. se requirán:

$$\frac{64.10}{56.1} \quad \frac{1000}{X} \quad \text{de donde X} \quad 875 \text{ Kgs. de CaO}_2 \text{ y}$$

$$\frac{64.10}{36} \quad \frac{1006}{X} \quad \text{de donde X} \quad 562 \text{ Kgs. de C.}$$

Estas condiciones suponiendo productos puros antes y después de la reacción, que la reacción se lleve hasta el final con un rendimiento de 100-100. En la práctica se ha encontrado que para una ton. de carburo de calcio de 85.0% se requieren 950 Kgs. de CaO y 650 Kgs. de C. pero en nuestro caso se ha consumido un promedio de 1000 Kgs. de cal por 700 Kgs. de carbón, esperándose que estas proporciones bajen. El consumo del electrodo que

también reacciona ha sido de 70 Kgs. por ton. de producto este promedio también tiende a bajar ya que al principio se tuvieron grandes quebraduras, el consumo garantizado por la casa vendedora es de 90 a 50 Kgs.

Debe evitarse que los productos reaccionantes lleven polvo, porque una cantidad considerable de este hace difícil la salida de los gases y con esto algunas explosiones; influyen en el rendimiento de la reacción el tamaño de los materiales, la temperatura y la mezcla.

La ventaja principal de la alta temperatura que da el arco en el horno eléctrico, permite que la cal se funda disolviendo en su seno el carbón para formar el carburo de calcio.

CALOR DE REACCION.—Teóricamente se encontró que para producir un mol-gramo de CaC_2 , que pesa 64.10 se requerían 105875 calorías y en la práctica se ocupan aproximadamente el doble, es decir se obtiene un rendimiento de 50%, aunque se tiene esperanzas de que este aumente, el cálculo en K. W. es:

1 watio-sec.	=	1 joule
1 watio-hr.	=	3600 joules
1 joule	=	0.2387 cal.
1 caloría	=	4.1833 joules
4.1833 x 105875	=	442800 joules
442800		
<hr/>	=	0.123 K. W. H. 105875 cal.
3600 x 1000		o 123.0297.

Como cada mol-gramo de carburo que pesa 64.10 y se producen con 105875 cal., se ocuparán en K. W. H. una ton. se producirá:

$$64.10 / 0.123 = 1000000 / X$$

$$X = 1922.05 \text{ K.W.H.}$$

Influencia de la Mezcla en la Calidad del Produc-

to. Un exceso de óxido de calcio descompone el CaC_2 en Ca y CO y un exceso moderado baja el punto de fusión, se obtiene un producto amarillo parduzco y el rendimiento crece. Exceso de carbón dá producto viscoso con escaso rendimiento.

VI.- Hornos y Tipos

Unicamente trataré los eléctricos, dividiéndolos en Hornos de arco, inducción y resistencia, de estos dos últimos los expondré solamente de una manera ligera ya que el estudiado corresponde a los de arco y además en la industria que me ocupa no se usan otros. Los primeros están basados en que el cuerpo que va a ser calentado ocupa el lugar del inducido; está basado en el principio, del transformador de corriente, el interventor fué KJELLIN siguiéndole el horno de ROCKLING RODENHAUSER teniendo un mejor factor de potencia, pudiendo trabajar con corriente de 60 ciclos y no con cinco como el de KJELLIN; estos rendimientos son bajos debido al factor de potencia como ya los expliqué oportunamente.

En estos hornos no se ha podido alcanzar una muy alta temperatura, por lo que el carburo de calcio no puede producirse y de hacerlo a muy alto costo, es decir Horno Eléctrico que no llena los requisitos indispensables, la fusión del material en proceso es muy lenta, difícilmente trabaja con materiales fríos que no sean algo conductores de la electricidad. Su uso principal está en el uso de la refinación de materiales fundidos (metales).

El segundo Horno el de Resistencias, el calor es producido al pasar la corriente por un metal o aleación de gran resistencia, algunas veces hace de resistencia la misma carga. Altas temperaturas no son prácticas común porque acortarían la vida de la resistencia, cuando están estas hechas a base de platino se obtienen temperaturas más elevadas pero estas resistencias no son comerciales por su alto costo. La temperatura común en estos

hornos es de 1100° C. Muy notable fué el uso de carbón como resistencia, llegándose a obtener temperaturas de 1700° C. Estas son hasta la fecha solamente en pequeños tamaños.

CONCLUSION: Por lo anterior, se deduce que el único horno que puede servir para la fabricación del Carburo de Calcio es el de Horno de Arco Eléctrico, ya que los anteriores, además de no dar la temperatura requerida en esta fabricación, no son prácticos para los volúmenes que se requieren fabricar.

HORNO ELECTRICO DE ARCO.—Tipos, clasificanse considerando que la trasmisión del calor producido por el Arco se hace directamente o por radiación, en Horno de Arco Directo y Horno de Arco Indirecto respectivamente, pudiendo ser todos monofásicos y trifásicos, por lo antes dicho solamente me referiré a los hornos trifásicos de corriente alterna.

Entre los hornos de arco indirecto cuéntase el Stassano, tres electrodos inclinados y colocados en tres puntos equidistantes a 120° uno del otro. Una variedad de este horno es el de Rennerfeltin que es el tipo de los hornos eléctricos Indirectos; cuenta con tres electrodos, dos de ellos horizontales y otro vertical superior que hace que el arco se dirija hacia abajo, lo que se le puede considerar entre los hornos directos ya que el calor es aplicado directamente y no por radiación.

EL HORNO DE ARCO DIRECTO.—Este horno es el que tiene mejor eficiencia térmica con relación al arco, hay dos clases; aquellos en que el arco se produce al través de la carga haciendo el arco entre el fondo del horno donde hay conductor y los superiores. Los principales son los de Girod Givowall y Nathusins en los que el arco se produce entre los electrodos que están sumergidos en la carga. El principal y de donde provienen los similares es el de HEROULT.

Una de las desventajas del arco independiente es que cerca de él hay un sobalentamiento estando en el

fondo y a los lados de flamas relativamente frías, además en estos hornos los electrodos tienen que estar en posición horizontal o muy cerca de ella, ocasionando la fractura frecuente del electrodo, sobre todo en hornos de gran capacidad en que los electrodos son de diámetros considerables y por consiguiente de bastante peso.

En un breve resúmen enumeraré las ventajas que tiene el horno de arco directo, ya que es este el que más conviene para la fabricación del Carburo de Calcio.

1a.—Una muy alta temperatura puede alcanzarse rápidamente.

2a.—Fácil regulación de la temperatura y uniformidad en esta.

3a.—Permite cualquier clase de carga.

4a.—Alta eficiencia, la mayor parte del calor generado se utilizará en fundir o purificar.

5a.—Los sobrecalentamientos pueden ser prevenidos y con esto aumentar la vida del material refractario.

6a.—Fácil de instalar los electrodos automáticos.

7a.—El horno de arco directo igual trabaja con carga fría que caliente.

8a.—Son los más fáciles de instalar y mantener en trabajo.

Por lo expuesto concluyo que el horno que conviene es el Horno de Arco Directo tipo Heroult con variantes, trifásico y de corriente alterna.

V.- Electrodos

El electrodo es el medio por el cual la energía eléctrica se transforma en calor, al cerrar el circuito uno con otro se forma un foco calorífico que al separar los electrodos sigue cerrado el circuito debido a que el material del electrodo (carbón) se pone incandescente y conductor pasando por esta atmósfera la corriente y produciendo la elevación de la temperatura llegando a ser esta algunas veces de 3700°C., pero normalmente de 2500 a 3000°C. Como se notará para mayores capacidades habrá más carga y consecuentemente aumento de la sección del electrodo. Generalmente son estos cilindricos por la facilidad de su fabricación y manejo, su sección varía de doce a sesenta centímetros; el largo varía mucho.

Los hay de Carbón Aformo y Grafito, colocados generalmente en los ángulos que formarían un triángulo equilátero en hornos circulares, en caso de que se usan hornos ovalados como el nuestro, llevan los electrodos casi en línea recta con un ligero desplazamiento del de en medio de 25 ctms. Los hornos monofásicos no tienen más que un electrodo cuando son directos y dos cuando indirectos cuya posición no puede ser variada.

Los electrodos son alimentados continuamente sin suspender la operación; para ello se les ha hecho rosca en ambos extremos y son unidos por birlos. Ahora hay una patente que de seguro va a revolucionar la industria de los electrodos, se trata de la patente Sueca Sonderberg comprada por los E. U. A., y ya instalada en varias plantas de fundición de hierro y acero, así como en la industria del Carburo de Calcio y en otras más. Por haberse

adoptado estos electrodos en mi estudio, y por dar grandes ventajas, hablaré de ellos más adelante extensamente.

Como indiqué, el electrodo puede ser de carbón amorfo y grafito, siendo este un paso más adelante en el proceso de su fabricación del carbón amorfo.

Las materias primas para la fabricación de electrodos son: carbón antracítico, coke de petróleo como aglutinante, brea o alquitrán. El primer proceso a que es sometido principalmente la antracita es el calentamiento hasta dejarle solamente un 0.5% de las materias volátiles, después es molido finamente y calentado nuevamente para añadirle el aglutinante, moldearlo, prensarlo y calentarlo a 1100° C. en horno de resistencia eléctrica. Este calentamiento es durante 15 o 20 días y en un período igual de largo es enfriado.

Para preparar electrodos de grafito, se parte del carbón anterior usando el llamado proceso de grafitación, por medio del cual todo o parte del carbón se transforma en grafito. Este proceso consiste esencialmente en el calentamiento en ausencia del aire a 2000° C. durante cuatro días, gastándose de 3 a 5 K.W.H./lb.. La reacción química de esta transformación es la siguiente: el carbón amorfo forma carburo en presencia de los gases presentes como impurezas, el carburo formado se transforma en grafito por el calentamiento del producto formado debe durar veinte días. El grafito natural no es usado por su alto costo.

Ventajas del Grafito como Electrodo: es un material mucho más conductor que el Carbón Amorfo, pudiéndose usar por esto electrodos más pequeños. No hay pérdida de corriente por calentamiento en las uniones por la resistencia de contacto con que se puede trabajar en el torno. Las deformaciones en el grafito debidas a las altas temperaturas son mucho menores que las del carbón amorfo. Cuando el electrodo tiene una pequeña capacidad no requiere control automático para los electrodos, lo que si se usaría en el otro. El grafito es más barato por ser menos la cantidad.

electrodos en mi estudio, y por dar gran-
blaré de ellos más adelante extensamente.
riqué, el electrodo puede ser de carbón
to, siendo este un paso más adelante en el
fabricación del carbón amorfo.

erías primas para la fabricación de elec-
bón antracítico, coke de petróleo con un
ca o alquitrán. El primer proceso a que es
almente la antracita es el calentamiento
olamente un 0.5% de las materias voláti-
molido finamente y calentado nuevamen-
e el aglutinante, moldearlo, prensarlo y ca-
C en horno de resistencia eléctrica, este
es durante 15 o 20 días y en un periodo
es enfriado.

preparar electrodos de grafito, se parte del
por usando el llamado proceso de grafita-
cio del cual todo o parte del carbón pasa a
Este proceso consiste esencialmente en un
en ausencia del aire a 2000° C. durante
estándose de 3 a 5 K.W.H. lb.. La explica-
de esta transformación es la siguiente: el
o forma carburo en presencia de los óxidos
como impurezas, el carburo formado es des-
por la alta temperatura en grafito, el enfria-
producto formado debe durar veinte días. El
usual no es usado por su alto costo.

ventajas del Grafito como Electrodo: cuatro ve-
ductor que el Carbón Amorfo, pudiendo usar
electrodos más pequeños. No hay pérdidas de
por calentamiento en las uniones por la facili-
se puede trabajar en el torno. Las oxidacio-
grafito debidas a las altas temperaturas son
que las del carbón amorfo. Cuando el horno es
ta capacidad no requiere control automático
electrodos, lo que si se usaria en el otro. El trans-
parar por ser menos la cantidad. Pero sin

embargo es más costoso, más frágil, muy conductor del
calor por lo que tanto mayores pérdidas por conducción,
y pérdidas por roturas en su manejo y transporte.

En nuestro caso fué usado un carbón que a pesar
de tener las desventajas propias de este material por las
condiciones del electrodo Soderberg fueron eliminaadas
la mayoría de estas, lo que claramente se demuestra por
las múltiples instalaciones hechas ya en los Estados Uni-
dos, dicho electrodo tiene las siguientes cualidades: es he-
cho de carbón antracítico teniendo como aglutinamiento
alquitrán, es vendido en sacos en forma bruta a los con-
sumidores, para darle la forma del electrodo es calenta-
do a unos 100° C. aproximadamente y vaciado en moldes
cilíndricos en nuestro caso, del diámetro del porta electro-
do dejando 3 cts. al rededor de este por donde circula
el aire de refrigeración, estos moldes son de 30 cts. de
alto y perforados; cada molde es soldado a una cinta de
acero por medio del cual es movido el electrodo indepen-
dientemente del porta electrodo.. Al ir consumiéndose el
electrodo, va bajando y conforme llega al horno se vola-
tiliza el aglutinante, quedando completamente dura la ma-
sa de las perforaciones de los moldes con objeto de per-
mitir la salida de los gases, conforme se va consumiendo.
Para preparar el electrodo por primera vez, hay que ca-
lentar por medios indirectos la parte baja del electrodo
para que adquiera la dureza indispensable.

Nuestro electrodo tiene las siguientes ventajas:
baratura de electrodo por si, de transporte, no existe que-
bradura en su transporte y manejo, ya que aún no es pro-
piamente electrodo, su empaque muy barato, fácil mane-
jo, no hay necesidad de hacer uniones en el carbón, el
electrodo ya formado se rompe poco por llevar el fo-
rro de lámina, fácil de instalar el sistema automático de
alimentación y porta electrodos, las oxidaciones a esas
temperaturas menores.

embargo es más costoso, más frágil, muy conductor del calor por lo que tanto mayores pérdidas por conducción, y pérdidas por roturas en su manejo y transporte.

En nuestro caso fué usado un carbón que a pesar de tener las desventajas propias de este material por las condiciones del electrodo Soderberg fueron eliminadas la mayoría de estas, lo que claramente se demuestra por las múltiples instalaciones hechas ya en los Estados Unidos, dicho electrodo tiene las siguientes cualidades: es hecho de carbón antracítico teniendo como aglutinamiento alquitrán, es vendido en sacos en forma bruta a los consumidores, para darle la forma del electrodo es calentado a unos 100° C. aproximadamente y vaciado en moldes cilíndricos en nuestro caso, del diámetro del porta electrodo dejando 3 ctms. al rededor de este por donde circula el aire de refrigeración, estos moldes son de 30 ctms. de alto y perforados; cada molde es soldado a una cinta de acero por medio del cual es movido el electrodo independientemente del porta electrodo. Al ir consumiéndose el electrodo, va bajando y conforme llega al horno se volatiliza el aglutinante, quedando completamente dura la masa de las perforaciones de los moldes con objeto de permitir la salida de los gases, conforme se va consumiendo. Para preparar el electrodo por primera vez, hay que calentar por medios indirectos la parte baja del electrodo para que adquiera la dureza indispensable.

Nuestro electrodo tiene las siguientes ventajas: baratura de electrodo por si, de transporte, no existe quebradura en su transporte y manejo, ya que aún no es propiamente electrodo, su empaque muy barato, fácil manejo, no hay necesidad de hacer uniones en el carbón, el electrodo ya formado se rompe poco por llevar el forro de lámina, fácil de instalar el sistema automático de alimentación y porta electrodos, las oxidaciones a esas temperaturas menores.

VIII.- Material Refractario

La mayoría de estos materiales son usados en forma de ladrillos o grava pequeña. Pueden ser ácidos, básicos o neutros. Generalmente materiales básicos son usados en la base y paredes del horno. Otros materiales refractarios distintos a los anteriores, como son la tierra de infusorios, el asbesto, óxido de calcio, aunque este algunas veces se hidrata como en nuestro caso, destruyéndose el horno, u otro material llamado Cilo-Cel y carborundum, éste último artificial y neutro.

Cualidades que debe tener un refractario: punto de ablandamiento y fusión muy altos, algunas veces se requiere que este último esté sobre los 1700° C., desde luego el punto de ablandamiento es el más importante, ya que en este estado el ladrillo pierde su resistencia a la compresión. Bastante densidad y resistencia mecánica a altas temperaturas, tener el mínimo coeficiente de dilatación y contracción en los cambios de temperatura. ser resistente a la corrosión y abrasión, deberán permitir el paso en la menor cantidad posible de calor a través de ellos por concepto de conducción y radiación.

Para la prueba de los ladrillos, se les somete a temperaturas elevadas, observando la temperatura de reblandecimiento y fusión y tiempo de esto por medio de conos de Seegar. Brinell tiene un procedimiento para medir la resistencia a la compresión por medio de unas bolas de acero de 6.321 cms. de diámetro aplicadas a una presión de 57 atmósferas, aumentándola hasta 100 a una temperatura de 1350° C. La presión es aplicada durante 5 minutos, al final de los cuales se mide la profundidad

causada por la presión. Estos ensayos no han tenido la utilidad deseada por que se ha demostrado que las pruebas de Laboratorio no reportan datos concordantes con la práctica.

Como lo anoté anteriormente, hay ladrillos básicos, neutros y ácidos entre estos últimos cuéntase el de SiO_2 del que hay dos clases; la 1a. es SiO_2 puro aglutinado con cal; la 2a. tiene bastante arena. Estos ladrillos son los que se usan para la bóveda ya que su dilatación es muy pequeña, este material resiste bien a la compresión aún a altas temperaturas, mas aún que los de magnesita y cromo. Este ladrillo es para un trabajo normal a una temperatura de 1750°C .

Entre los ladrillos básicos, encuéntrase los de magnesita y dolomita, los primeros son los mas comunes en su construcción. Están amparadas por muchas patentes en el mundo. Contienen aproximadamente 85% de MgO q 7% de Fe_2O_3 con pequeñas cantidades de CaO . La magnesita cristalina es la que tiene más demanda, teniendo el punto de ablandamiento a los 1900 C.

Refractario Neutro, el más comercial de estos materiales es el proveniente del mineral de cromo (cromita) con 35 a 45% de Cr_2O_3 , 15 a 25% de Fe_2O_3 . Además se encuentran los materiales sintéticos, aún no muy usados por su precio alto entre ellos se encuentra el Carborundum, que es carburo de silicio.

Puedo decir en términos generales y sin temor a equivocarme que en el futuro habrá muchos cuerpos que presten su cooperación como refractarios.

Material	SiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	Cr_2O_3	Perdi- das
Refractario á- cido						
Arena delisice	94.37	2.84	1.86	—	0.29	— 0.57

Ladrillo desili-							
Ladrillo de sili-							
cio de 1a.	96.29	0.41	0.51	2.75	0.52	—	—
Ladrillo de sili-							
cio de 2a.	95.37	1.05	1.57	0.87	1.02	—	—
Fireclay	50.07	2.29	38.67	—	—	—	9.06
Firebrik	52.86	2.58	44.39	—	—	—	—
Refractario bá-							
 sico							
Magnesita que-							
mada	3.07	6.73	1.07	3.06	85.05	—	0.86
Magnesi t a la-							
drillo	2.45	7.06	0.85	2.87	86.68	—	—
Dolomita cru-							
da	1.03	0.43	0.37	27.67	23.25	—	46.93
Dolomita que-							
mada	3.19	1.07	0.87	56.17	38.43	—	—
Refractario							
 neutro							
Mineral de Cro-							
mo	4.87	18.76	12.73	1.57	14.29	—	4.17
Ladrillo de							
Cromo	6.89	20.37	9.53	1.83	16.28	44.75	—

Por el carácter de los materiales que entran en la composición del carburo de calcio, se usa refractario básico, siendo el mejor y barato hasta la fecha la Magnesita, el refractario que se usó en la construcción del Horno fué hecho en los Estados Unidos por la firma JAY-BEE.

IX. Pérdidas y Balance de Calor

La energía eléctrica que entra al horno se transforma casi cuantitativamente en calor; de este, parte se utiliza en la reacción; que como vimos antes es fuertemente endotérmica, y parte se pierde por radiación en las paredes, fondo del horno y parte superior, solamente que en esta parte los gases de salida formados por la reacción salen calientes con partículas de material que arrastran; los electrodos son una fuente de pérdida de calor, la masa de carburo que sale fundida, así como el agua que se encarga de refrigerar los portaelectrodos y puertas del horno por donde se hacen las sangrías, estos puntos los trataré detenidamente más adelante.

La eficiencia térmica del horno de arco directo, tiene como principal pérdida las del electrodo y a través de él, esto en horno de bóveda, pero en el nuestro, las pérdidas principales se encuentran en la parte superior, las pérdidas por el electrodo a consecuencia de la conducción no las puedo determinar debido a que: 1o. Parte de este calor es aprovechado en evaporar el alquitrán que traía como aglutinante el aire que lleva para refrigerarlo no está controlado. 2o. El anillo que se encarga de llevar la corriente hasta el electrodo está refrigerado (este anillo se llama economizador de electrodo, porque debido a él no se calienta tanto en esta parte y evita en parte su oxidación, así como en los hornos de bóveda no se calentará tanto y evitará que se haga conductora es sabido que la mayoría de los materiales refractarios a altas temperaturas se hacen conductores de la electricidad), el economizador de electrodos consta de una cámara donde se

expanden los gases y el aumentar de volúmen disminuyen su temperatura tomándola el agua que circula en una chaqueta de estas cámaras, de aquí vuelve a pasar a otra cámara donde nuevamente se dilata, ya a una temperatura más baja salen a la atmósfera sin arden y sin hacer ardes al electrodo, en nuestro caso el collarín únicamente se encarga de enfriar los conductores eléctricos y el electrodo ya que el horno no tiene bóveda.

El calor perdido en esta agua de refrigeración es la siguiente: se requieren 90 lts. de agua por minuto, entrando a una temperatura de 22° C. y salen a la temperatura de 37° C., luego tendremos:

90 00 X 60 X 15 = 81 000 000.00 cal. hrs. sabemos que:

Watt	24 cal.	
1 K.W.	240 cal.	
1 K.W.H.	240 X 3600	864 000.00 cal.
8100000.86400	93.75 K.W.H.	

Por lo tanto tenemos una pérdida de 93.75 K.W.H. en el agua de refrigeración de porta electrodos o anillos conductores, correspondiente a 2.400% de la corriente consumida en el horno.

La pérdida de calor también en agua de refrigeración pero en las puertas es: El consumo de agua es de 45 lts. de agua por minuto, entrando a una temperatura de 22° C. y saliendo a 28° C., lo que da una diferencia de temperatura de 6 C., con esto podemos saber:

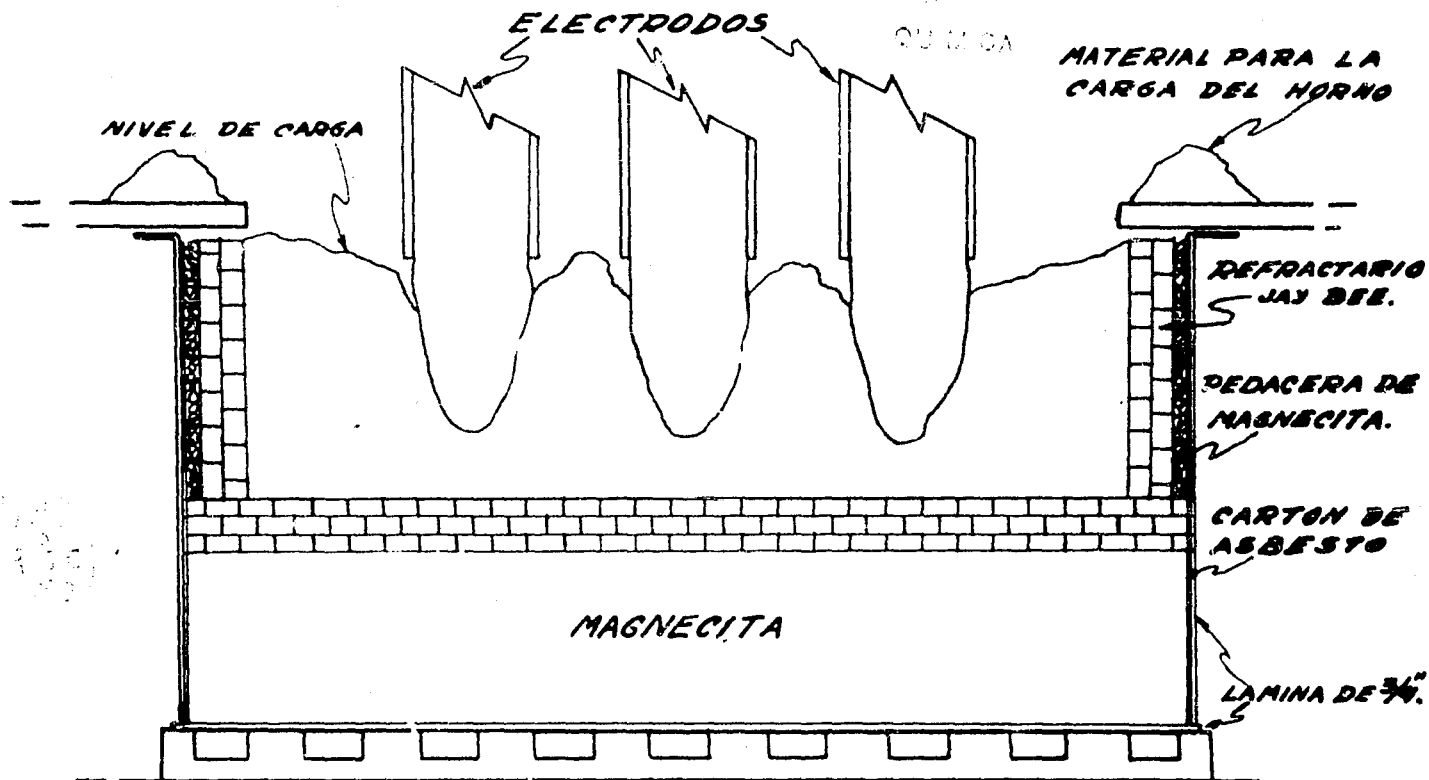
45000 X 60 X 6 = 16 200 00.00 cal. /hr.

Por los datos anteriores sabemos:

1 K.W.H.	864 000.00 cal.
luego	16200000.864000
	18.77 K.W.H. perdidos.

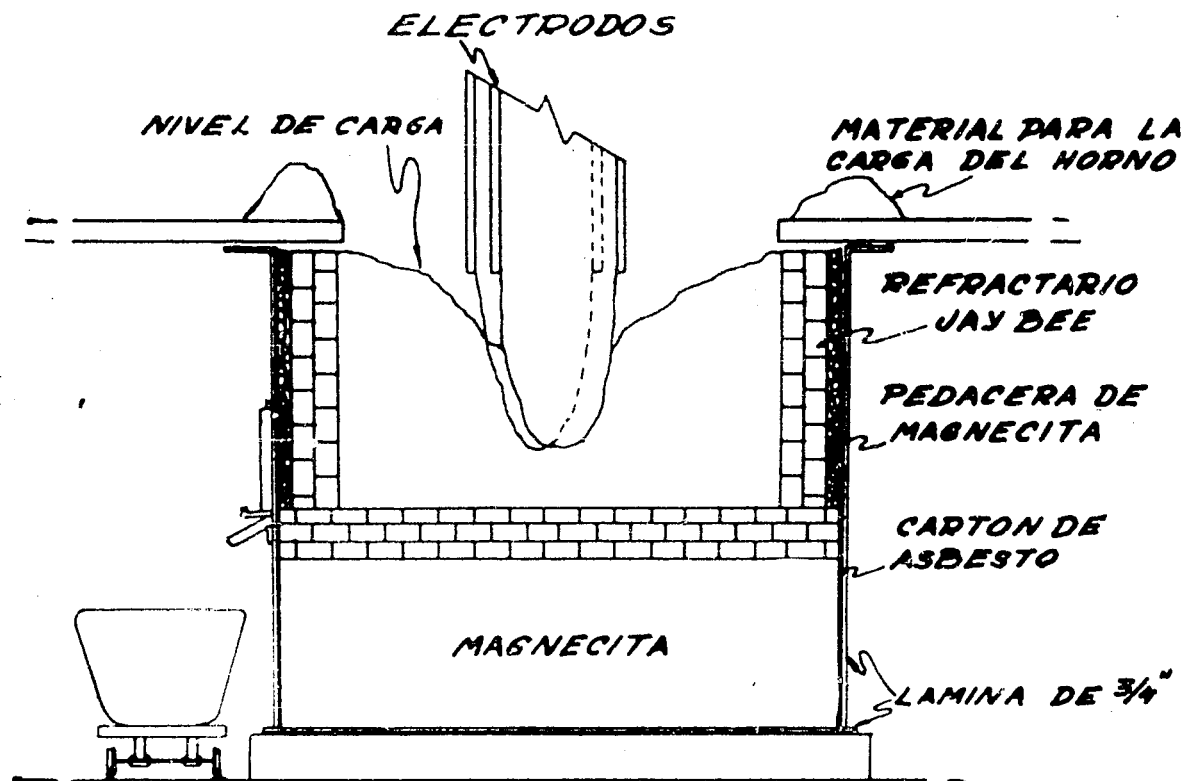
Correspondiendo a un por ciento de:

18.77 X 100 = 3900 = .48% de la corriente consumida en el horno.



**HORNO SÖDERBERG PARA LA FABRICACION
DE CARBURO DE CALCIO**

ESCALA 1:25



**HORNO SÖDERBERG PARA LA FABRICACION
DE CARBURO DE CALCIO.**

ESCALA 1:25

en donde $K = 1 + \frac{1}{4} m^2 + \frac{1}{4} m + 1.256 m$ y $B = \frac{a - b}{a + b}$

A. media de la pared vertical de lámina:

Perímetro por altura, $F \times A = 12 \times 2.7 = 32.5 \text{ mts.}^2$

A. medida de la pared vertical de asbesto:

$P \times A = 12 \times 2.7 = 32.5 \text{ mts.}^2$

Hago iguales estas dos áreas debido a que el perímetro medio de la lámina por ser delgada daría un resultado igual al asbesto.

A. media del MgO en pedazos es igual a la media aritmética entre el área externa de esta capa que es igual a la del asbesto, y el área interna del mismo:

$P \times A = 11.28 \times 2.3 = 25.95 \text{ Mts.}^2$ área interna del MgO en pedazos.

De donde el A. media será:

$$\frac{13.5 + 25.95}{2} = 29.74 \text{ mts.}^2$$

A. media del MgO en ladrillos, se obtiene de la misma manera que la anterior, únicamente tomando el área que le corresponde con su perímetro menor por corresponderle una elipse menor:

$$\frac{P \times A = 29.74}{2} \quad \frac{9.55 \times 1.5 = 29.77}{2} = 22.37 \text{ mts.}^2$$

Resumiendo:

A. Media del hierro	32.50 Mts. ²
A. Media del Asbesto	32.50 Mts. ²
A. Media del MgO pedazos	29.77 Mts. ²
A. Media del MgO ladrillo	22.37 Mts. ²

CALCULO DE CALOR PERDIDO POR CODUCION.—Para ello debe saber las resistencias parciales de las capas aislantes, partiendo del hecho que ya conozco sus conductibilidades, a saber:

$$C \text{ Hierro} = .125 \quad \frac{32500}{1.6} = 26250 \text{ R} = \frac{1}{2625} = 0.000038$$

$$C \text{ Asbesto} = 0.00451 \quad \frac{325000}{.636} = 231.5 \text{ R} = \frac{1}{231.5} = 0.00431$$

$$C \text{ MgOp} = 0.00454 \quad \frac{312300}{29.74} = 48.1 \text{ R} = \frac{1}{48.1} = 0.0207$$

$$C \text{ MgOL} = 0.00134 \quad \frac{2237.00}{9.00} = 24.83 \text{ R} = \frac{1}{24.83} = 0.0403$$

$$\frac{0.06534}{1590} = \frac{.000038}{X} \text{ de donde } X = 0.98^\circ\text{C.}$$

De donde la resistencia total es igual a la suma de las parciales.

$$R \quad t = 0.000038 = 0.0043 = 0.0207 + 0.0403 = 0.06534$$

Podemos conocer la caída de la temperatura en cada una de las capas, sabiendo que la caída de temperatura es a la resistencia total, como la caída de temperatura de cada una de las capas es a su respectiva resistencia.

$$\frac{0.06534}{1590} \quad \frac{.000038}{X} \quad \text{de donde } X = 0.98^\circ \text{ C.}$$

De igual manera sacamos la caída de temperatura de las otras capas y obtenemos:

Hierro	986° C.
Asbesto	105.80° C.
MgO pedazos	506.00° C.
MgO ladrillo	978.00° C.

Para checar las anteriores operaciones hasta hacer la suma de las caídas parciales de temperatura, cuyo total deberá ser de 1590° C.

Como decíamos anteriormente, la temperatura de la cara exterior del horno que es de hierro, está a la temperatura de 110 C., siendo su coeficiente término igual a 0.0095, luego las pérdidas por convección serán:

$$\begin{array}{rcl} \text{Area } 325000 \times 0.0095 & = & 342.1 \text{ cal/seg.} \\ 342.1 \times 3600 & = & 1113200 \text{ cal/hr.} \end{array}$$

En las condiciones se perderá por radiación, aplicando la fórmula de Boltzman:

$$Q = 1.41 E \left(\frac{110 + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{30 + 273}{100} \right)^4$$

Siendo E un coeficiente de emicividad que para lámina de hierro ennegrecida es 0.70

$$\begin{array}{rcl} Q & = & 0.987 (0.021550 - 0.008219). \\ Q & = & 0.013157 \text{ cal/seg/cm.}^2 \\ Qt & = & 0.013157 \times 325000 = 427.59 \text{ cal/seg.} \\ Qt & = & 427.59 \times 3600 = 15201100 \text{ cal. hs.} \end{array}$$

Las pérdidas totales por radiación y convección en K.W. H. son:

$$\begin{array}{rcl} \text{Sabemos que: } 1 \text{ K.W.H.} & = & 86400 \text{ cal.} \\ \text{tenemos un total de} & & 27488350 \text{ cal/hr.} \\ 27488350 / 86400 & = & 31.82 \text{ K.W.H.} \end{array}$$

Para conocer el flujo de calor a través de las diferentes capas del horno, se sigue el siguiente método.

Se calculan las temperaturas de las interfases y de estas temperaturas de cada una de ellas, a saber:

1700 - 978	=	722	tem. niterfase lad-pedazos.
722 - 506	=	216	" " de pedazos-asbesto.
216 - 105	=	111	" " " asbesto -lámina.
111 - .42	=	110.5	" exterior de lámina.

La segunda columna corresponde a las caídas de temperaturas calculadas anteriormente.

<u>1700 - 722</u>	=	1211	temperatura media del ladrillo.
2			
<u>722 - 216</u>	=	469	temperatura media MgO pedazos.
2			
<u>216 - 111</u>	=	163.5	temperatura media del asbesto.
2			
<u>111 - 110.5</u>	=	110.5	temperatura media de la lámina.
2			

Con estas temperaturas medias de las diferentes capas, vamos a calcular de nuevo las resistencias usando la conductibilidad térmica de los diferentes materiales, corregidas a la temperatura que acabamos de encontrar, la fórmula usada fué la siguiente:

$$K_0 = K_t \left(1 + \frac{T_m + 273}{273} \right)$$

En primer lugar tenemos el ladrillo cuya conductibilidad térmica a 550 es de 0.071, a 0°C. será

$$0.0071 = K_t \left(1 + \frac{550 + 273}{273} \right)$$

de donde $K_0 = 0.001691$, con este valor podemos conocer la conductibilidad térmica del ladrillo a 1211°C . que es la tem. media que encontramos,

$$K_{1211} = 0.001691 \left(1 + \frac{1211 - 273}{273} \right)$$

$$K_{1211} = 0.01088$$

La conductibilidad térmica del MgO en pedazos será:

$$0.0043 = K_0 \left(1 + \frac{1211 - 273}{273} \right) = K_0 \times 4.185$$

$$K_0 = \frac{0.0043}{4.185} = 0.001028$$

$$K_{469} = 0.001028 \left(1 + \frac{468 - 273}{273} \right)$$

$$K_{469} = 0.002796^\circ\text{C}.$$

La conductibilidad del asbesto será:

$$0.00043 = K_0 \left(1 + \frac{300 - 273}{273} \right) = K_0 \times 3.115$$

$$K_0 = \frac{0.00043}{3.115} = 0.000138$$

$$K_{110.5} = 0.000138 \left(1 + \frac{110.5 - 273}{273} \right)$$

$$K_{110.5} = 0.000138$$

Obtenidos estos coeficientes podemos calcular la

resistencia de cada una de las capas y con ello la del grueso del horno a saber:

$$C \quad L1211^{\circ}C. = 0.01088 \frac{223700}{9.00} = 272.2 \quad R = \frac{1}{272.2} = 0.0036$$

$$C \quad P \quad 469^{\circ} \quad C. = .00279 \frac{312300}{29.74} = 29.34 \quad R = \frac{1}{29.34} = .0341$$

$$C \quad A \quad 168.5^{\circ}C. = .00036 \frac{32500}{.636} = 18.35 \quad R = \frac{1}{18.35} = .0544$$

$$C \quad F \quad 110.5^{\circ}C. = .1889 \frac{32500}{1.6} = 3891 \quad R = \frac{1}{38.91} = .000257$$

$$Q \quad t = \frac{AT}{RT} \quad 17666 \text{ cal/seg.}$$

$$R \quad t = .000257 - .0544 - .0341 - .0036 = .092$$

$$17666 \times 3600 = 6357600 \text{ cal/hr.}$$

Como se ve las pérdidas por radiación y convección son mucho menores comparadas con el flujo de calor que pasa a través de cualquiera de las capas, lo que deberemos hacer seria disminuir la temperatura de la cara interior del horno ya que la del exterior si se conoce por haberse medido, así el flujo a través de la capa será menor, y a base de esos supuestos se podrá hacer que ambas calorías sean iguales, pero en nuestro caso solamente se trata de dar a conocer el procedimiento para casos nuevos, ya que nosotros solamente tratamos de saber las

pérdidas totales de radiación y convección para lo cual nos basta la temperatura exterior.

Para la base del horno se seguiría el mismo procedimiento, pero por las razones antes dichas me abstendré de hacerlo; solamente calcularé también, las calorías perdidas por radiación y convección tomando como dato la temperatura de la plancha de asbesto, que es la que tiene el horno al exterior, siendo esta de 74°C.

Pérdidas por convección: tenemos que el area de la base del horno es una elipse cuya area es igual a $A = \bar{N} \text{ ab.}$

$$A = 3.1416 \times 2.45 \times 1.25 = 9.62 \text{ mts.}^2$$

Siendo el coeficiente de convección del asbesto de 0.0043 a 74°C.

$$Q_c = 96200 \times 0.043 = 414 \text{ cal/seg.}$$

Hago constar que para las pérdidas por convección tiene influencia la posición del cuerpo, así por ejemplo, la pared vertical considerada como estándar, la horizontal superior con pérdidas de 1.1 veces más que la normal y la horizontal inferior 0.5 veces de la estándar.

Las pérdidas por radiación de la base del horno, según la fórmula de Boltzmann será:

$$Q_r = 1.41 \times 0.48 \left(\frac{1000}{273 + 74} \right)^4 - \left(\frac{1000}{273 + 30} \right)^4$$

$$Q_r = 0.6768 (0.01664) - (0.008426)$$

$$Q_r = 0.0010689 \text{ cal/seg. cm.}$$

$$Q_r = 0.0010689 \times 92600 = 99.82 \text{ cal/seg.}$$

Calorías totales perdidas en la base del horno serán la suma de las pérdidas por radiación y convección o sea:

$$Q_r = 414 = 990.82 = 1404.82 \text{ cal/seg.}$$

En una hora serán:

$$1404.82 \times 3600 = 5057352$$

$$\text{En K. W. H. } 5057352/86400 = 5.89 \text{ K. W. H.}$$

X.- Producción

X.—PRODUCCION.—Como se vió en el capítulo de Calor de Reacción el consumo teórico de calor por molgramo es de 105.875 cal., equivalente a 1928 K. W. H. por ton. pero en la práctica se encontró que debido a las pérdidas anteriormente anotadas se obtuvo un rendimiento de 52.1% es decir un consumo de 3700 K. W. H. por ton.

El consumo de electrodo es de 70 Kgs. por ton.

El Horno produce de 500 a 600 Kgs. de Carburo de Calcio esta producción está limitada por la capacidad de los electrodos casi exclusivamente, ya que el volúmen del horno tiene un margen muy amplio.

Este trabajo fué revisado por el Sr. Ing. Dn. Alberto Lancaster Jones, director de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Guadalajara.

Bibliografía

CHARLES BINGHAM.—The Manufacture of Cabirde

FRANK T. SISCO.—The Manufacture of Electric Steel.
of Calcium.

W. TRINKS.—Industrial Furnaces.

CREGHTON & KOEHLER.—Electro-Chemistry.

BADGER & McCABE.—Elements of Chemical Engineering.

JOHN H. PERRY.—Chemical Engineers' Handbook.

ULLMANN.—Enciclopedia Industrial.