



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

ESTUDIO COMPARATIVO DE HORNOS EN
LA INDUSTRIA CERAMICA

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A:
OSCAR PONCE DOMINGUEZ

MEXICO, D. F.

1978



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 NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO

LA TESIS 1978
M.C. ~~345~~ 343
FECHA
REG
1



ESTUDIO COMPARATIVO DE HORNOS EN LA INDUSTRIA CERAMICA



TESIS PROTEGIDA

INDUSTRIAL
GONZALEZ DOMINGUEZ

MEXICO D.F. 1978

Con cariño y admiración a
Mis Padres
Daniel Ponce Zarza
Amparo Domínguez de Ponce

A mi Tía Francisca
cariñosamente

A mis queridos hermanos
Ma. Elena, Carmen, Esperanza y Daniel

A mis sobrinos

A mis Familiares, Maestros y Amigos

Con respeto y admiración al
ING. VLADIMIR ESTIVILL
por su atinada dirección y
consejos

J U R A D O:

PRESIDENTE: ING. VLADIMIR ESTIVILL RIERA

VOCAL: ING. GUILLERMO ALCAYDE LACORTE

SECRETARIO: ING. CLAUDIO A. AGUILAR MARTINEZ

1er. SUPLENTE: ING. ENRIQUE BRAVO MEDINA

2do. SUPLENTE: ING. CARITINO MORENO PADILLA

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA:

VEGA INDUSTRIAL Y LADRILLERAS ASOCIADAS
LA HUERTA.

SUSTENTANTE:

OSCAR PONCE DOMINGUEZ

ASESOR DEL TEMA:

ING. VLADIMIR ESTIVILL RIERA

C O N T E N I D O

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

C A P I T U L O I . - Generalidades. Industria
cerámica.

C A P I T U L O II . - Cocimiento en hornos.

C A P I T U L O III . - Tipos de hornos.

C A P I T U L O IV . - Estudio comparativo de hor-
nos.

C O N C L U S I O N E S .

B I B L I O G R A F I A .

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

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

Desde los tiempos antiguos la tierra satisfizo la necesidad humana de trabajo creador, los rudos obreros prehistoricos, con ayuda del agua amasaban la arcilla y la trabajaban hasta darle formas sencillas de vasijas o de cacharros de diversas clases, estos eran expuestos al sol para que se secaran. A pesar de la fabricación tan tosca y primitiva estos respondian a las exigencias de la vida de aquellas épocas.

Cuando el hombre se hizo sedentario descubrió la utilización del fuego y logró fabricar los primeros tipos de hornos, logicamente no es posible que ellos se sintieran atraídos por cuestiones estéticas o de calidad.

Los pueblos civilizados dieron gracia y figura a las obras de cerámica, hasta llegar a transformar esta necesidad por un exquisito arte, representativo de cada cultura. Así se han convertido en una gran fuente de información arqueológica, debido a la gran resistencia de la arcilla cocida que ha permanecido enterrada por miles de años.

Actualmente la cerámica es una de las artesanias más populares a nivel popular y recreativo pero no solo esto es producible por las caracterizticas de la arcilla ya que aunque no es de la misma finura se usa para la fabricación de diversos artículos de primera necesidad que van desde ladrillos para la construcción de inmuebles, tubos de drenajes, aparatos sanitarios, aislantes electricos etc.

Pero es precisamente el factor más atractivo que ejerce la arcilla; el hecho de que este material barato extraído del suelo refinado y mezclado con agua, para ser moldeado mediante un complicado equipo da forma a las estructuras industriales de un país, o para que con un mínimo de herramientas sirva para modelar objetos de gran valor estético.

En el proceso de fabricación de artículos cerámicos, es sumamente importante la operación de cocimiento ya que en ella se proporciona a la mercancía de las cualidades requeridas para su venta o destino posterior.

El estudio del horno acarrea por consiguiente una serie de circunstancias muy características entre las que destacan la importancia de los fenómenos que involucran transferencia de calor, - punto que es muy importante debido al abastecimiento de combustible y que en otros países actualmente es vital en la industria.

En las industrias en las que ya hay un horno instalado, puede -- tornarse este un "cuello de botella" ya que por lo general representa el factor más dinámico en las industrias cerámicas; sucede en muchas ocasiones que la capacidad del horno frena la producción, o por el caso contrario sucedería una cuestión de ser considerada dentro de factores económicos que tan costeable resultaría tanto la inversión y mantenimiento de un equipo propiamente dicho "sobrado".

Hasta el año 1920 los hornos eran sumamente sencillos, debido a que no eran muy considerados factores como calidad, aprovecha---

miento de aire caliente, ahorros de combustible etc. Actualmente debido al estado crítico en algunos países respecto a los combustibles y los nuevos desarrollos de productos es muy necesario tener presente los distintos tipos de hornos existentes y las ventajas que ellos pueden representarnos.

En México la situación actual de las industrias ladrilleras es muy precaria en cuanto a tecnología, ya que por diversos factores no podemos hablar de desarrollo o bien de mejoras en su proceso, ya que los costos de adquisición de un equipo que beneficiaría la calidad y cantidad de sus productos están realmente fuera de su alcance.

Salvo algunas excepciones podíamos hablar de un auténtico concepto de fábrica, inclusive hablar desde el punto de vista de ingeniería de un buen horno o un sistema eficiente de cocimiento o aprovechamiento de energía.

Así pues aún cuando en el presente trabajo no se describen las situaciones por la que atraviesa esta industria, creo que en el caso de un posible desarrollo de alguna empresa cerámica, éste sería de utilidad cuando se considerarán los siguientes puntos:

- 1.- Que tipo de horno es el mejor para el proceso en especial ?
- 2.- Que factores debemos tener presentes en un caso de selección ?
- 3.- A que debemos enfocar nuestra selección de horno ?

- 4.- Durante la operación del horno, cuales son nuestros parámetros a cuidar para obtener ventajas de tipo energético, que otras posibilidades de uso de sus productos y ventajas.
- 5.- Recomendaciones.

C A P I T U L O I

C A P I T U L O I

GENERALIDADES

A R C I L L A:

La arcilla es la materia prima utilizada en la industria cerámica es abundante y barata, cuyo valor para la producción para tantos-artículos radica en, su plasticidad en estado húmedo, su coagulación al secarse y al tornarse en material sólido y fuerte al ser-cocido.

La mayor parte de arcilla al ser recogida se encuentra revuelta - con una gran cantidad de impurezas, tales como, rocas, guijarros- y arena, por lo que es necesario refinarla antes de ser empleada. La arcilla es una roca del tipo del granito, que con el paso del-tiempo se ha ido descomponiendo en diminutas partículas, ésta es- encontrada en el mismo lugar que la roca original ó residual, o - bien en los fondos de lagos y lagunas, adonde las partículas han- sido arrastradas por el agua, estas son conocidas como arcillas - sedimentarias.

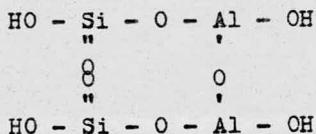
El componente primordial de la arcilla es el silicato de aluminio acuoso, de hecho éste es el que se considera como la verdadera arcilla y a tal se le han adjudicado las propiedades particulares - de las arcillas en general, principalmente su plasticidad, la --- transformación química que sufre al ser calentada con lo cual se- presentan una serie de modificaciones muy importantes en las pro- piedades físicas. Por lo general sin importar el contenido de si- licato de aluminio, las diversas especies arcillosas, poseen mez- clas de otros materiales que en estado puro no presentan propieda- des plásticas, pero que cuya presencia mejora la calidad del mate- rial y por otro lado se pueden ver incrementadas las aplicaciones del mismo, ya sea en mezclas naturales ó artificiales, tales mate- riales también pueden actuar como fundentes es decir que reducen- la temperatura de cocción, ó bien que disminuyan la contracción - y fragilidad de la arcilla y hagan más fácil su moldeo.

Otros tipos de arcilla son originados en períodos geológicos pos-

teriores a la vitrificación de los minerales y de algunas rocas que contienen silicatos de aluminio, especialmente feldespatos y granitos feldespáticos, pórfiros y piedras volcánicas. En ellos se inició una transformación química del feldespato, que no es sino un silicato de aluminio y potasio, de fórmula $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$, el cual al vitrificarse se transformo en caolín, de fórmula $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$, el feldespato pierde potasio y ácido silícico a la vez que absorbe agua.

La variación que existe entre el caolín y algunos silicatos acuosos es debido a que por cada molécula de Al_2O_3 puede existir una cantidad variable de moléculas de SiO_2 y H_2O . Por lo general estas materias son amorfas y ceden al agua que lleva ligada químicamente en su molécula.

La fórmula de más aceptación del caolín es la siguiente:



Con esta misma composición se conoce la caolinita, pero las láminas son más pequeñas, cuyo tamaño se puede considerar de un milímetro y por lo mismo el material se debe considerar como coloide.

Existen muchas clases de caolín que son extremadamente pobres en impurezas, que bien podrían ser consideradas como puras, pero -- que raramente poseen buena plasticidad, obviamente pueden ser -- torneadas pero es más conveniente moldearlas con yeso; el caolín posee una consistencia pegajosa por lo que no es apto para ser -- modelado ni tampoco para el torneado libre.

Los materiales grasos, de grano más fino y de mayor contenido de material coloidal como la arcilla roja y la azul poseen una plasticidad muy notable. La plasticidad de las arcillas grasas supera a la del caolín; de las cuales se piensa que se formaron por la vitrificación de rocas de alto contenido de silicatos de cal y tierra arcillosa, como las piedras volcánicas, pero también influye el contenido vitrificante de mica y silicatos del mineral.

La plasticidad de las arcillas grasas es atribuida a un contenido no definible de minerales arcillosos y materias coloidales, - que se encuentran agregados en forma de geles es la masa arcillosa con una cierta cantidad de barro hidratado y ácido silícico.

Estas arcillas grasas son utilizadas y apropiadas para el torneado y el modelado, en cambio para el moldeado es menester hacer - mezclas con otros materiales ya que difícilmente pasaría el contenido acuoso en moldes de yeso, poseen además la propiedad de - poder mezclarse con grandes cantidades de otros minerales molidos sin perder su plasticidad, la cual aumenta con el tiempo al pudrirse, es almacenada en bodegas previo amasamiento antes de - dar forma a la masa arcillosa.

La relación de agua necesaria para que la arcilla alcance su máxima plasticidad, varía de acuerdo a la clase de material utilizado. Se ha observado que la cantidad de agua requerido es mayor para las arcillas grasas que para las magras, ciertos tipos de - arcilla plástica, con un contenido del 90% de substancia arcillosa coloidal, pueden absorber hasta un 60% de agua, con lo que se obtiene una masa muy plástica, por otro lado las arcillas morenas que solo contienen un 20% de arcilla coloidal, apenas toleran entre el 12 y el 15% de agua (de la masa total) para que empiece a tomar consistencia.

CLASIFICACION DE LAS ESPECIES ARCILLOSAS.

Debido a la gran cantidad de especies arcillosas existentes, debido a que sus propiedades varían de un yacimiento a otro, inclusive en un mismo barrizal pueden existir diversas variaciones como arcilla grasa, arcilla arenosa, de cochura roja, de cochura - amarilla en una área reducida.

Se pueden hacer una serie de clasificaciones geológicas según el origen y la edad, también pueden serlo la consistencia, color, - propiedades, etc. Pero desde el punto de vista cerámico, resulta más práctico y conveniente clasificarla por su composición así - pues tenemos:

I).- ESPECIES ARCILLOSAS CON ALTO CONTENIDO EN TIERRA ARCILLOSA Y BAJO CONTENIDO EN HIERRO.

A este grupo pertenece el caolín, el cual es un mineral blanco - cuyo origen es el vidriado del feldespato, se conoce también el caolín Zettlizer de Checoeslovaquia, cuya composición es muy parecida a la fórmula estructural del caolín, por lo cual se le ha concedido la prioridad en los caolines normales, posee buena --- plasticidad.

Hay también una serie de variedades arcillosas de gran resistencia al fuego y de color blanco, son grasas y mucho más plásticas que el caolín. Hay entre otras conocida como la ball clay y la blue clay de Inglaterra, en Alemania existen las conocidas como Halle y Löhthainer.

En todos estos tipos de arcilla el contenido de Fe_2O_3 es siempre menor al 1%, las variaciones que existen son en el contenido de sustancia arcillosa.

También cabe hacer notar que cuando el contenido de feldespato - aumenta la resistencia al calor disminuye.

II).- ESPECIES ARCILLOSAS CON ALTO CONTENIDO EN TIERRA ARCILLOSA Y UN CONTENIDO DE HIERRO MEDIANO.

En esta clasificación se podrían englobar las especies arcillosas de cochura amarilla o rojiza. Tienen bajo contenido de hierro y están casi libres de cal, cuando la arcilla aún no es cocida suele ser de color gris, ocasionalmente es de un gris negruzco por la mezcla con carbón, también hay arcilla roja; entre estas se puede encontrar la arcilla de Bornholin, la cual es usada para loza, cacharros, chamota y terracota.

III y IV).- TIPOS DE ARCILLAS POBRES EN CONTENIDO ARCILLOSO Y RICAS EN Fe_2O_3 Y CAL.

A).- ARCILLAS DE LA EDAD TERCIARIA.

En esta época se formaron las arcillas plásticas que se depositaron en los mares. La coloración varia desde el rojo hasta el --- gris, algunas capas contienen cal y otras no, casi siempre es gra

sa y exenta de arena y piedras. La coloración que adquiere después de la cocción puede variar desde el amarillo hasta el rojo, las mermas que se obtienen durante los períodos de secado y cocción son del 14 al 18 por ciento.

El vidriado empieza a los 1000° o menos para este tipo de arcillas.

Es de escasos recursos en la industria cerámica si no se aplican degreasantes para enmagrecer la masa.

La cantidad de cal en la arcilla plástica varía considerablemente en algunos casos los análisis de la misma localidad varían desde 1.5 a 38 %.

En estas podemos citar la mica arcillosa que es de apariencia negruzca debido a el contenido de carbón. Contiene gran cantidad de mica potásica (mica blanca común, muscovita), puede estar mezclada con arena, además de contener sal y también piritas de hierro.

También se debe mencionar la tierra diatomácea, la cual es usada en la manufactura de los ladrillos huecos, que son muy refractarios y aislantes de calor, rigurosamente no es arcilla es una formación de agua salada de la edad terciaria, su componente principal es un sílice diatomáceo, es decir capas de conchas silíceas microscópicas, de estructura muy fina.

La tierra que se emplea tiene un 25% de substancia arcillosa, lo cual corresponde al 10% de Al_2O_3 y 5% de Fe_2O_3 y el resto es cal cenizas e impurezas. Las impurezas deberán ser mínimas para que sea bien aprovechado el mineral.

B).- ARCILLA DE LOS PERIODOS GLACIARES.

Las arcillas formadas en las orillas de los glaciares son caracterizadas por una gran mezcla de materiales, entre los que destacan, piedra, arena, grava, y carbonato de cal. Hubo una transformación de las especies ferrosas en ferricas con lo cual la coloración se transformó de azul gris en amarillo pardo.

Así primero se encontrará en un barrizal, la arcilla roja que es pobre de cal, siguiendola en una zona rica en cal la arcilla azul, es afectada por dichas influencias.

Las arcillas morenas tienen un variado contenido en piedra, --- áreas etc. para fines cerámicos tienen que ser lavada anteriormente, las mejores clases de éstas pueden ser ocupadas para la fabricación de ladrillos y de tejas.

C) ARCILLAS DE CORRIENTES DILUVIALES

Estas son las más usadas para la fabricación de ladrillos y la alfarería, se encuentran impurificadas de materiales erosivos.- Estas impurezas, partículas minerales de grano fino, en estado no vidrioso pueden consistir de feldespato mica, cuarzo, combinaciones de hierro, cal y menores cantidades de otros minerales. Debido a la finura de su grano, no se deposita junto con la arena, sino junto con la arcilla al estancarse el agua:

Entre las impurezas dañinas para las mercaderías de cerámica está el FeS_2 ya que se vidria y forma terrones de óxido parduzcos mientras que el azufre se oxida y forma sulfatos, con el contenido de cal y álcalis en la arcilla. Estas partículas producen manchas sobre la arcilla cocida y produce también la exudación el llamado nitro de muro, en los ladrillos mojado.

PREPARACION DE LA ARCILLA.

EN LAS FABRICAS DE LADRILLOS Y TEJAS

Las arcillas apropiadas para la fabricación de estos artículos son generalmente arcillas de origen secundario, están comprendidas en tres bloques:

- 1.- Arcillas de superficie que proceden de sollevamientos ó intrusión de depósitos más antiguos, ó que también pueden ser de formación reciente y de naturaleza sedimentaria.
- 2.- Esquistos, los cuales se han encontrado sujetos a grandes presiones, hasta que la arcilla básica quedó resuelta a la forma de pizarra.
- 3.- Arcillas refractarias que son obtenidas de mayores profundidades.

Antes de llevar a cabo la explotación de un barrizal, se sondea, se mide el espesor de las capas y se analiza la calidad de la arcilla; una vez que se ha eliminado la capa vegetal, se montan

rieles, carros volquete que son empleados para la transportación del material extraído.

Cuando la arcilla se extrae de una forma manual y la desmenuzación tiene lugar en tal caso en bancos de fácil acceso a los transportadores. En rampas más o menos acantiladas, la extracción se lleva a cabo con tracción de una cuerda, en algunos casos los carros suben mediante tracción por cable.

Mientras dura el proceso de excavación la arcilla debería ser analizada, la capa superior de la arcilla roja puede cambiar de calidad a cada palada, en un espesor de unos 20 metros, si se desea la arcilla para la elaboración de ladrillos u otro tipo de mercancía roja se debe proveer al trabajador de ácido clorhídrico para estar checando a menudo si la adición de éste en la arcilla produce efervescencia.

Si es tiempo de lluvias la arcilla parece ser más grasa, y si por el contrario, el tiempo es seco, ésta parecerá ser más magra. Algunos yacimientos de arcilla se explotan durante todo el año y algunos otros solo se hace en verano, lo cual va de acuerdo a la demanda diaria y la economía de la utilización de la maquinaria, ya que no es costeable su inversión cuando los tiempos de trabajo son pequeños. Por ejemplo una fábrica que requiere producir 50,000 ladrillos por día va a requerir entre 135 y 180 toneladas de arcilla o de esquisto, esto es de suma importancia para el tipo de producción que se requiera, debido a lo cual es necesario llevar a cabo un análisis económico para lograr la constancia deseada en la producción, los factores determinantes en este aspecto son; la elección de la maquinaria, mano de obra y magnitud de labores.

Otra solución para los problemas de abastecimiento de materia prima es la utilización de bodegas de almacenaje, en donde en un tiempo determinado la arcilla va adquiriendo mayor homogeneidad, abasteciendo de una adecuada cantidad de agua y manejando el tiempo de almacenaje de una forma adecuada, el cual puede variar entre días y meses, este proceso aumenta la plasticidad, lo cual es de especial importancia en la fabricación de tejas, materias tornadas, etc.

También se ha probado hacer más manuable la arcilla sometiéndola al sol y a la lluvia en el verano o al hielo en invierno, pero por lo poco prácticos desde el punto de vista de tiempo y económico, han sido renovados por métodos mecánicos.

Una vez que se encuentra la arcilla en las fabricas, se deja caer desde los carros volquetes a una amasadora preliminar, lo cual es un canal que en cuyo fondo gira un eje con cuchillas afiladas y con una cierta inclinación. De tal forma la arcilla es desmenuzada y posteriormente pasada a una correa de transporte, o bien puede ser pasada directamente al molino de rodillos.

En los almacenes se aprovecha el tiempo para condicionar la arcilla de acuerdo a los fines a los que vaya a ser destinada, si se desea enmagrecer la arcilla buena y sin piedras, se pueden hacer adiciones de arena, chamota o ladrillo pulverizado para darle mayor intervalo de vidriado. Y posteriormente polvo de cartón y serrín. Si en cambio se requiere arcilla grasa para la elaboración de tejas o alguna otra mercadería del tipo, se suelen hacer adiciones a la arcilla buena y sin piedras de la arcilla cenagosa o disuelta.

Para mayor practicidad se utiliza un aparte de eliminación que provee los diferentes materiales a la amasadora, tales como; arcillas húmedas, secas, serrín, etc. mediante una banda de transmisión que comunica con uan serie de depositos diferentes. El buen funcionamiento proporciona una masa homogenea, la carga es regulada por compuertas correspondientes que se abren y cierran a voluntad. El amasamiento prosigue en molinos de rodillos que generalmente constan de dos partes, sobrepuestas, el par superior separa las piedras, siendo para este fin los cilindros algo cónicos, o con filetes de peso plano, que apartan las piedras hacia un canal.

Los terrones duros son tratados con rodillos de dientes o en rodillos cortadores, en estos últimos uno gira en forma muy lenta, el otro tiene salientes y gira muy rápido, con la que los terrones son cortados en viruta, posteriormente el amasamiento tiene lugar en rodillos lisos, de estos se puede pasar directamente a la maquina de ladrillos, colocada debajo. Se pone por lo general

en medio de estas dos máquinas una amasadora extra con el objeto de impedir la formación de capas en los ladrillos; esta máquina consiste en un cilindro horizontal, es donde un eje con cuchillas y con tornillos sin fin amasan la arcilla y la conducen a una salida, donde es extrusada y cortada en forma de ladrillo o teja o la mercancía deseada.

Si durante el amasamiento se pasa a la arcilla por una prensa de vacío, la masa se volverá más plástica. El último par de rodillos puede comprimir la arcilla a través de una plancha perforada, con lo cual se obtienen en forma de fideos que caen en una cámara de aire.

Cuando la arcilla se amasa muy fina, las burbujas de aire brotan a la superficie, la arcilla es expulsada de la cámara de vacío con un tornillo sin fin. Las arcillas magras resultan muy fáciles de manipular, después de que se han tratado en esta cámara esta materia es usada para mercaderías tales como ladrillos, caños, etc. En las tejas sería muy conveniente pero existe la posibilidad de quebraduras.

En tanto las piedras grandes son separadas por el par de rodillos superiores, los inferiores trituran las de menor tamaño. Si no son desmenuzados los granos de cal se corre el peligro de que se produzcan grietas.

Para materiales secos como gres, ladrillos cocidos, y similares, se emplea también una desintegradora, o trituradora, o un molino de bolas.

La trituradora tiene dos ruedas en un mecanismo accionado por un eje vertical, el material triturado se obtiene por agujeros en la periferia del dispositivo interior, también se le puede dar uso en el amasamiento de material pegajoso.

Pasando del primer triturado (en molino de dientes por ejemplo), la arcilla seca y los ladrillos cocidos pueden ser molidos finamente en una desintegradora, la cual consiste en dos discos planos que giran en dirección contraria, ambos tienen proyecciones que dan unas con otras, pero que no hay contacto durante su rotación, los materiales son lanzados a la periferia y son alimentados por el eje, pero dan continuamente con las proyecciones. El-

material finamente dividido cal al exterior de la armazon de hierro que reviste al molino.

En general se puede decir que la descripción anterior es el proceso de transformación de la arcilla en la industria ladrillera, pero existen algunas variantes de acuerdo a la clasificación de la materia prima disponible, a continuación se presentan los equipos necesarios para algunos casos particulares de tipos de arcilla:

1).- Proceso de barro duro (esquisto duro).

A) Alimentador (Generalmente de movimiento alternativo).

Quebrantadora.- Se requiere para hacer la fragmentación de la materia prima.

Depósito.- Este se utiliza para un almacenamiento intermedio en el proceso.

Alimentador del molino.- En una máquina para la pulverización total.

Cribas.- Pueden ser por gravedad o vibración.

Depósito de almacenamiento.- Es conveniente su uso para el control de la producción.

Báscula.- Su utilización es optativa, para controlar los balances de material, ó dosificación a la amasadora.

Amasadora.- Se hacen las adiciones de agua y amasamiento de la mezcla.

Máquina desaireadora.- Por lo común es una máquina de extrusión.

Cortadora.- Corta una cinta para ladrillos o bloques.

Transporte a los secaderos.- Este es usado de acuerdo a la producción, puede ser en carretillas, montacargas, transportadores, etc.

Secadero.- Por lo general es un tunel largo, donde se aprovecha el calor de deshecho del horno.

Horno de cocción.- De acuerdo al tipo de cocimiento requerido, almacenamiento, clasificación y despacho.

2).- Proceso de barro duro (con arcilla o esquisto blando).

Alimentador.- Puede ser de plancha o tornillo.

Desintegradora.- Donde la arcilla seca o los ladrillos cocidos de merma son finamente molidos.

Molinos de rodillos lisos.- Donde hay una separación de elementos de mayor tamaño.

Cribas.- También son utilizadas por vibración o gravedad.

Máquina desaireadora.- Para mayor plasticidad de la arcilla.

Prensa de helicoides.- Para hacer la compresión de la arcilla.

Cortadora.- Con boquillas de acuerdo a la mercadería a fabricar.

Transporte.- Carretillas, cintas de transporte o transportador circular.

Secador.- Son cámaras de estantes o bastidores.

Horno.- Acorde a la producción y tipo de mercadería.

Almacén y despacho.

PASTA CERAMICAS.

En el caso de fabricación de mercancías cerámicas bastas se utiliza la materia arcillosa tal como se encuentra en los barrizales. Es sabido que excavando a diferentes profundidades varía la arcilla tanto en su contenido graso como en el color de cochura que pueda presentar, de tal forma que es un mismo barrizal se pueden obtener productos rojizos (flamantes) o bien amarillentos. En las alfarerías se prefiere utilizar una arcilla de cochura amarillenta, que posea un contenido de calcio adecuado, apropiada para el barnizado.

Cuando se habla de la fabricación de productos más finos es preciso que la arcilla tenga cochura blanca, determinado contenido cálcico, buena moldeabilidad, fusión, etc. Para lo cual es menester utilizar una mezcla de arcillas, entonces el análisis racional debe orientar el trabajo posterior, ya que se trata de coordinar los componentes para un fin determinado, ellos son:

- a).- Sustancia arcillosa
- b).- Feldespato
- c).- Cuarzo
- d).- Greda

De acuerdo a la temperatura de cocción, la clase de mercadería - los productos cerámicos de más importancia (exceptuando a los refractarios) se pueden clasificar en la siguiente tabla:

TEMPERATURA	MERCADERIA	CASCAJO	COMPOSICION- APROXIMADA - DE LA MASA %
900 - 1000°	Producción de fábrica de ladrillos y tejas.	Colorado poroso.	Arcilla con agua y cal.
900 - 1050°	Alfarería, Terracota, mayólica.	Colorado poroso.	25-45% de Subst. Arcillosa 30-40% Cuarzo + Feldespato. 15-35% Greda. 2-15% Oxido de Hierro.
900 - 1200°	Arcilla blanca. Artículos calcareos.	Blanco Poroso	35-50% Subst. - arcillosa 35-40% Cuarzo + Feldespato. 10-25% Greda.
1200 - 1250°	Fayenzas, artículos de feldespato.	Blanco Poroso.	50% Subst. arcillosa aprox. 40-45% Cuarzo. 5-10% Feldespato.
1300 - 1400°	Arcilla refractaria	Amarillento poroso	50-60% Substancia arcillosa 40-30% Chamota aprox. 10% Feldespato aprox.
1200 - 1350°	Loza	Colorado compacto	40-50% Subst. - arcillosa 30-40% Cuarzo. 10-30% Feldespato.

TEMPERATURA	MERCADERIA	CASCAJO	COMPOSICION APROXIMADA- DE LA MASA %
1200 - 1350°	Porcelana blanda	Blanco -- compacto	25-40% Arcilla- blanca. 20-40% Cuarzo. 30-50% Feldes- pato. Bajo 5% de gre da.
1400 - 1450°	Porcelana dura.	Blanco -- compacto	50% Subst. ar- cillosa. 25% Cuarzo ---- aprox. 25% Feldespato aprox.

C A P I T U L O

I I

C A P I T U L O I I

COCIMIENTO EN HORNOS

Las cualidades necesarias de la mercancía de acuerdo a su destino son proporcionadas en esta operación. Para ello es menester - eliminar el agua hialoscópica de los objetos, ya que de no hacer lo estos podrían ser fácilmente disgregados, con la única ventaja de poder volver a maniobrar la masa plástica resultante. Pero cuando se llega a cocer a unos 1000°C. se elimina el agua combinada y los artículos se tornan resistentes y duros a la acción del agua, más sin embargo para el objetivo de los artículos cerámicos no es suficiente (que lleguen a ser impermeables al aire, - al agua ó a cualquier líquido, el aumento de densidad y la contracción total ocurren a temperaturas superiores, de acuerdo al tipo de arcilla y material extraño que contenga o haya sido adicionado artificialmente para mejorar el tipo de la pasta. Esta contracción no se puede decir que llega hasta el reblandecimiento o conglutinación de la masa unicamente por una serie de fenómenos físicos, o que a estos seguidos de reacciones químicas como ocurre en otras formaciones cristalinas, se podría decir que la contracción es debida a el fraccionamiento por la acción del calor y que por lo tanto hacen disminuir los huecos intermedios; otra explicación podría ser que de acuerdo a la fórmula, las moléculas de silicato aluminico son privadas del agua y por lo mismo son aproximadas unas con otras.

En la aglutinación los factores que más afectan se podría mencionar que son las impurezas alcalinas y la proporción de materiales ferrosos y feldespaticos en partículas finas, debido a su acción como fundentes para cementar las partículas de arcillas y proporcionando consistencia a la pasta.

Si la cocción se pasa de una temperatura dada, considerada como límite, que incluso puede ser menor que el punto de fusión del fundente, este mismo tomará una acción química sobre la superficie de las partículas de cuarzo y arcilla, con los que está en contacto, de tal forma que se obtiene una solución fundida que -

puede convertirse por enfriamiento en una capa sólida. El principio de la vitrificación o fusión es debido al incremento de la energía de la acción química con la temperatura del fundente líquido que da lugar a una compenetración muy estrecha entre las partículas de cuarzo y arcilla; si la temperatura es elevada más aun se puede llegar a un reblandecimiento total e incluso a la fusión de la mercancía de arcilla, el reblandecimiento cuyo objetivo es cementar los diversos componentes de pasta, con lo que esta una vez enfriada, quedará impermeable a los líquidos y gases, a la vez se torna más consistente y más resistente a las acciones químicas y mecánicas. Mientras los puntos de fusión y de aglutinación sean más distantes, la pasta será más apropiada para la fabricación de las mercancías vitrificadas, se puede mencionar aquí el caso de las ferrosas y feldespáticas.

Ya que no siempre es posible llegar durante el período de cocción a la aglutinación es necesario hacer una clasificación de los artículos debido a este respecto; se tiene entonces que existen:

Artículos compactos (porcelana, gres)

Artículos porosos (Loza, ladrillos, artículos de alfarería).

El incremento de la temperatura deberá ser lento de acuerdo al grueso del material en cuestión, y dejarle enfriar posteriormente a la cocción, se sabe que los artículos enfriados lentamente se tornan tenaces y muy resistentes a las acciones mecánicas, -- por lo mismo las piezas frágiles, incluso se rompen cuando son enfriados con una velocidad considerablemente rápida, estos rompimientos son espontáneos, sin que en ello intervengan agentes mecánicos exteriores.

La arcilla sufre una serie de fenómenos durante la cocción si se ha secado previamente con aire y una corriente de calor suave, se pierde toda el agua superficial. En el intervalo de 125 a 350° C. se puede apreciar una merma en peso, que es relativamente pequeña; en el intervalo de 350 a 500° C. se evapora el agua que se condensó en las puertas de los hornos, cuando se llega a los-

500°C. el agua ligada químicamente se evapora.

La cantidad de agua que pierde corresponde a un 14% del peso total de la masa; digamos que si una muestra cerámica posee una composición del 50% de substancia arcillosa, la cantidad de agua que pierde antes de la cocción corresponde a un 7%; por lo consiguiente es de suma importancia que los hornos destinados para fines cerámicos estén provistos de un respiradero.

Aún cuando se han rebasado los 500°C se logra percibir la evaporación de un poco de agua, pero al llegar a los 900°C. la evaporación es total, es por lo tanto razonable pensar en la descomposición de la molécula de Caolín y la adquisición de nuevas propiedades, la plasticidad se pierde y de acuerdo a la forma de suministrar el calor va a existir una resistencia a los ataques de ácidos y bases, también se torna muy frágil.

Si se incrementa la temperatura puede haber una serie de transformaciones químicas que dependen del contenido de fundentes en la mezcla que suelen reaccionar entre ellos, es entonces donde hay una merma adicional, conocida como merma de cochura y es entonces cuando la pasta adquiere dureza, fortaleza y sonoridad. Si la temperatura se llega a elevar la masa se vitrifica, se hace más compacta y cristalina, se deforma gradualmente hasta llegar a un punto donde se derrite. El vidriado depende de el tipo de arcilla utilizada, la de grano fino se vidria más fácilmente que la de grano grueso, por la mayor superficie que éstas presentan, el proceso se acelera. No es posible determinar un punto de fusión exacto debido a que la cocción breve requiere temperaturas más elevadas que la cocción prolongada o lenta.

Si las impurezas son hierro y cal por ejemplo, el vidriado puede realizarse a temperaturas bajas, cuestión que en la práctica suele ser muy difícil debido a que el intervalo entre la temperatura de vidriado y el punto de fusión es muy estrecho por lo tanto la cochura resulta con gran dificultad para que sea homogénea. Esta es una de las razones por las cuales los artículos de material compacto son fabricados con material más refractario, que se vidria a temperaturas más elevadas y por lo mismo la zona de-

vitrificación se hace mucho más ancha.

El proceso de cocimiento en esta industria debe de ser muy estrictamente vigilado y dosificado tanto en el suministro de combustible como en la conservación del horno y en la cantidad de trabajo, ya que son una gran parte de los costos totales de manufatura. Por lo mismo es también muy conveniente el tener un buen conocimiento de las reacciones que se efectúan en el período de cocimiento.

Todos los materiales cerámicos son quemados para estabilizar y graduar su estructura, para lo cual es necesario llegar a una temperatura tanto o más alta que la temperatura de su uso, por ejemplo los ladrillos para trabajo pesado de alta cocción, son quemados a 1480°C ., ladrillos de caolín son cocidos a 1700°C . y algunos ladrillos básicos tan altos como 1870°C .

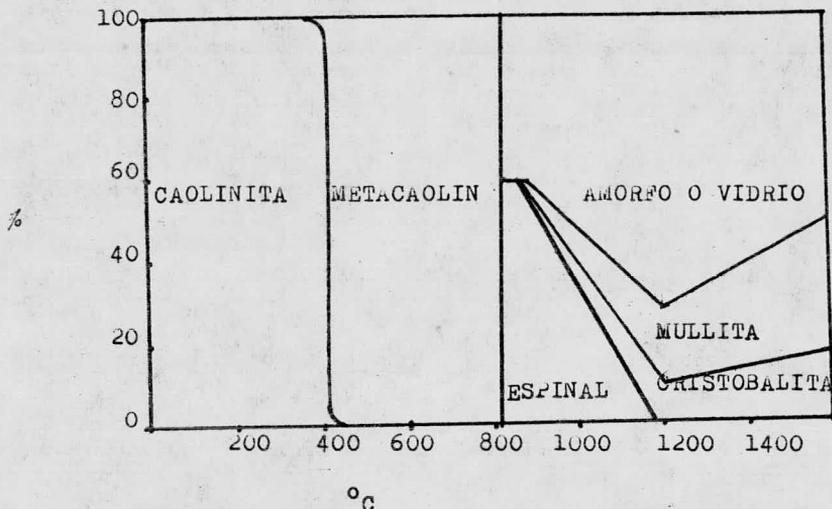
Las reacciones que tienen lugar sobre la arcilla en este período son estudiados por diversas formas entre las cuales podemos mencionar las siguientes:

- 1).- Pérdida de peso
- 2).- Análisis térmico diferencial
- 3).- Difracción de rayos X
- 4).- Rehidratación
- 5).- Microscopio electrónico

Algunas de las reacciones son descritas a continuación:

Caolín: Cuando se trata de caolín bien cristalizado, el calentamiento se lleva a cabo en forma lenta y cuando llega a los 450°C se absorben 170 cal/gr y hay una pérdida del 14% en pérdida de su peso, cuando se rebasa esta temperatura los datos obtenidos por rayos X indican un rompimiento en la estructura de el caolín transformandose en un material conocido como metacaolín, del cual se piensa que pueden ser láminas de Si-O. Alrededor de los 950°C aparece una nueva fase de cristal teniendo una forma de espigas, la cual es orientada a lo largo de los ejes del cristal en el caolín original, también se nota una evolución pronunciada del calor. Más o menos a los 1050° la estructura espinal se rom-

pe formando las especies conocidas como mullita y cristobalita - con una fase vitrea amorfa, llegando a una temperatura de 135°C, la composición es del 30% mullita, 15% cristobalita y 55% vidrio, la transformación se presenta en la siguiente figura.



Arcilla Refractaria. - Este tipo de arcilla es un poco diferente a el caolín tratado anteriormente, debido a que esta es menos perfecta en su composición, son menos afilados y hay poco alineamiento o no hay entre el material inicial y la mullita resultante.

Se ha encontrado que la mullita posee un 28% de minerales a todas condiciones, pero la cristobalita contiene un 15%, con enfriamiento lento cae al 2% en las arcillas refractarias amortiguadas.

Diversas arcillas contienen una cierta cantidad de impurezas y tienen una gran importancia en la cocción, generalmente son: carbonatos o sulfuros que al romperse forman óxidos, que a su vez éstos reaccionan con la arcilla.

La arcilla para loza se coce rápidamente teniendo a efecto las reacciones de gases que escapan de la estructura, lo cual puede provocar hinchamiento o núcleos negros.

A continuación hay una tabla que manifiesta algunas de las impu-

rezas más comunes y sus temperaturas de descomposición:

		TEMPERATURA (°C.)
$\text{FeS}_2 + \text{O}_2$	----- $\text{FeS} + \text{SO}_2$	350 - 450
$4\text{FeS} + 7 \text{O}_2$	----- $2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 4 \text{SO}_2$	500 - 800
$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$	----- $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3 \text{SO}_3$	560 - 775
$\text{C} + \text{O}_2$	----- CO_2	350 -
$\text{S} + \text{O}_2$	----- SO_2	250 - 920
CaCO_3	----- $\text{CaO} + \text{CO}_2$	400 - 900
$\text{FeCO}_3 + 3\text{O}_2$	----- $2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 4\text{CO}_2$	800 -
CaSO_4	----- $\text{CaO} + \text{SO}_3$	1250 - 1300

Fenómenos termodinámicos en el horno

El trabajo principal que debe ser efectuado y al que debemos enfocar nuestra atención, es que tanto el horno como el sistema de combustión, proporcionan la cantidad de calor adecuada para cumplir las especificaciones del cocimiento sobre la mercancía en ellas debemos de mencionar, la temperatura final de la carga, la uniformidad de la temperatura en la misma, el tiempo que debe ser mantenida y en otras ocasiones debe considerarse la velocidad de calentamiento en ella.

Para poder comprender el proceso de calentamiento es sumamente importante conocer tanto las propiedades físicas de la mercancía y tener presente los procesos y variables termodinámicas y de transferencia de calor que existen en esta operación, de tal manera que podamos obtener los parametros necesarios y por lo consiguiente lograr resultados satisfactorios.

A) Cantidad de calor a impartir en la carga.

Cuando se desean calentar artículos en un horno primeramente habra que generar calor en el mismo; la cantidad debe ser de acuerdo al tipo de operación que se desea realizar.

El calor absorbido por la carga está dado por la ecuación:

$$Q = m C_p \Delta T$$

Q = Cantidad de calor en kilocalorias/Kg. °C.

m = Masa en Kg.

C_p = Capacidad calorífica en kilocalorias/Kg. °C.

T₂, T₁ = Temperaturas inicial y final en °C.

Es decir el calor impartido para una carga y una capacidad de -- carga (M y C_p son constantes) está en función de la diferencia -- de temperaturas, es decir la cantidad de calor depende de la tem-- peratura final a la cual va a ser cocida la mercancía, que para-- un proceso en especial se debe conocer el rango de temperaturas-- de operación y así en términos de la ecuación anterior calcular-- la cantidad de calor que absorberá la carga.

B) Flujo calorífico en la carga.

Una vez generada la cantidad de calor es muy importante que ésta se distribuya en una forma homogénea y que todo el material reci-- ba esa cantidad de calor.

Por lo general en los procesos de calentamiento el calor penetra en la carga a través de su superficie y de ahí es distribuido ha-- cia el interior, para que esto sea posible se requiere de un gra-- diente de temperaturas. Esto podría ilustrarse por el caso de -- transmisión de calor a través de una placa, el cual cuando se -- transmite de una manera uniforme se representa por la ecuación -- siguiente:

$$\frac{Q}{t} = \frac{K A (T_2 - T_1)}{S}$$

en la cual:

Q = Cantidad de calor transferido en kilocalorias

t = Tiempo en horas

K = Constante de conductividad térmica media dada en kiloca-- lorias/hora °C.

- S = Espesor de la placa en metros, metro cuadrado
T₂ = Temperatura final de la placa en grados centígrados
T₁ = Temperatura inicial de la placa en grados centígrados

Pero cuando se calienta una carga la transmisión de calor raramente es paralela y nunca va a ser permanente, realmente es transitoria, es decir que la temperatura varía en cada punto de la carga con el tiempo.

Es importante destacar la importancia de la constante de proporcionalidad "K" que es una propiedad física del material, cuyo valor depende de su naturaleza y de la temperatura.

Para grandes rangos de el gradiente de temperatura, la constante de conductividad térmica varia bastante con la temperatura y entonces es necesario usar un valor para K (promedio).

Sin embargo debemos considerar otra propiedad muy importante denominada difusibilidad térmica, su valor es obtenida por:

$$D = \frac{K}{C_p \text{ desp}}$$

en donde cada una de las literales representa:

- D = Difusibilidad térmica y esta dada en horas/metro cuadrado.
K = Conductividad termica en kilocalorias/metro, hora, grado centígrado.
C_p = Capacidad calorifica dada.
desp = Densidad específica manifestada en kilogramos/metro cúbico.

De tal fórmula podemos notar que el calor impartido al elemento es igual al peso por el calor específico y por la elevación de temperaturas, cuanto mayor es el valor de dicha relación más rápidamente será difundida la temperatura hacia la zona menos caliente.

El material que va a ser cocido en hornos industriales no siempre es continuo, muchas veces la carga es compuesta por piezas individuales y en forma independiente y que son estibadas con diversas alturas. Cuando se calientan las cargas de este tipo, el calor fluye en cada pieza sólida y es transmitido por pequeñas arcas de contacto y también por espacios llenos de gas que tienen una conductividad térmica muy baja.

Cuando se desea obtener un flujo calorífico rápido se hacen circular los gases calientes a través del mismo material.

C) Transmisión de calor a la superficie de la carga.

Sabiendo que la cantidad de calor neto recibido por la carga deberá ser distribuido lo mejor posible sobre su superficie y con ello lograr la mayor homogeneidad en la temperatura de el material, debemos entonces tener presente los mecanismos de como es transmitido; realmente es una combinación de los tres tipos de transferencia, conducción, convección y radiación en donde todos y cada uno de ellos tiene importancia sobre la magnitud y distribución del calor en la carga.

Ya que también es necesario considerar el efecto de la configuración del horno y la importancia del proceso de combustión sobre la distribución de calor en el horno, entonces consideremos las principales contribuciones de calor en el horno, que globalmente constituyen el calor neto y tenemos así que la transferencia involucra los siguientes fenómenos:

- 1) Conducción
- 2) Convección
- 3) Transferencia de calor por radiación entre sólidos
- 4) Radiación entre gases puros y sólidos
- 5) Radiación entre llamas luminosas
- 6) Interacción térmica en los hornos

D) Obtención de la temperatura de cocimiento.

La temperatura requerida para el cocimiento de un artículo cerá-

mico, se obtiene por la generación de calor, para lo cual es necesario emplear cualquiera de los métodos siguientes:

1. Conversión de la energía eléctrica en calor
2. Calor producido por medio de la utilización de un combustible.

El primer caso solo es utilizado en los hornos eléctricos y posee ventajas sobre los hornos de combustión, que aún son los más usados. Dichas ventajas y características de cada uno de ellos serán discutidos más adelante.

Desde el punto de vista práctico no es importante el origen geológico de los combustibles y de las otras fuentes de energía calorífica, sino el enfoque al cual debe estar orientada la atención de los usuarios son las propiedades, costo y disponibilidad.

Los combustibles pueden ser líquidos, sólidos o gaseosos y a su vez pueden ser, naturales o artificiales, en el cuadro siguiente se muestran más claramente dicha clasificación:

C O M B U S T I B L E S	Sólidos	{ Naturales.- Carbón de piedra, leña, turba, lignito <u>an</u> tracita, hulla.
		{ Artificiales.- Coke de hulla
	Líquidos	{ Naturales.- Aceites pesados como la nafta, bencina, <u>pé</u> troleo.
		{ Naturales.- Metano, acetileno, <u>ga</u> sogeno.
	Gaseosos	{ Artificiales.- Gas de agua, gas <u>iluminante</u> .

todos ellos tienen un poder calorífico particular y por lo tanto sus usos van a serlo también.

Debido a la variación de su composición, los valores tabulados - generalmente son valores medios, una propiedad muy importante es su temperatura adiabática de la llama, la cual es la temperatura alcanzada cuando se quema el combustible a presión constante con un volumen teórico de aire a la temperatura ambiente y en una cámara de combustión aislada térmicamente que sería el manejo ideal del combustible.

Sabemos que con la combustión de 1 kg. de carbón se pueden desarrollar 8140 calorías, a continuación se dan algunos valores de combustión de algunos tipos de combustible, considerando la pérdida que acarrea el contenido de agua y ceniza:

Valores de Combustión

	Kilocalorias/kg	Kilocalorias/m ³
Antracita	Unos 8.000	
Carbón de piedra	6.000-7.500	
Coques y carbón vegetal	6.500-7.000	
Lignito (50% de agua+ceniza) .	2.200-3.000	
Briquetas de lignito (15% agua)	4.000-5.000	
Turba (30% agua-ceniza)	3.500-3.800	
Turba (50% agua-ceniza)	2.300-2.500	
Madera	3.000-3.500	
Bencina, petróleo	Unos 10.000	
Aceites pesados	10.400-11.000	
Alcohol	5.800	
Alquitran mineral	8.800	
Gas de alumbrado		Unos 4.500
Gas pobre		" 2.500
Gasógeno		" 1.000
Acetileno	12-000	" 13.900
Carbono óxido de carbono (CO).	2.440	
Oxido de carbono anhídrico carbónico (CO ₂)	2.440	3.050
Hidrógeno	29.000	2.600

a) Combustibles gaseosos.

Poseen ventajas sobre los líquidos y los sólidos, aún cuando su costo es mayor por unidad de calor producido que los otros.

Los gases naturales que tienen una alta capacidad calorífica -- contienen principalmente gasolina, propano y butano, cuando se priva de estos se conoce como gas seco.

El gas natural se presenta como el más apropiado para los hornos su alto Cp da la oportunidad de poderlo transportar en gaseoductos relativamente delgados, se puede considerar como gas puro y --salvo en algunas ocasiones está con algo de azufre.

Puede producir también llama luminosa si se requiere debido a -- que se compone exclusivamente de hidrocarburos, el alto contenido de los mismos impide los precalentamiento en generadoras o recuperadoras, por la posibilidad de que exista cracking a altas -- temperaturas y por lo tanto se taponean los conductos de hollín, por otra parte la economía que representaría el precalentamiento es despreciable debido a que el peso del gas es inferior al 1/15 del peso de la mezcla combustible-aire, una mezcla combustible-aire, una mezcla que tenga una pequeña cantidad de gas natural -- y mucho gas de horno alto u otro tipo de gas producido puede ser precalentado sin que haya formación de hollines ya que es probable la combinación del carbono liberado con el CO_2 del gas tratado.

El costo de las energías producidas por la combustión del gas natural depende de unas variables entre las que hay que destacar, -- el costo de instalación del gaseoducto y explotación de las instalaciones de compresión, las cuales son necesarias a causa de -- las distancias existentes entre los lugares de extracción y consumo.

Entre las ventajas que presenta este tipo de combustible están -- que si es mezclado intimamente con aire no deja residuos sólidos y la combustión es completa, por otro lado no requiere de aparatos delicados para la aspersion como los líquidos, no provoca --

obstrucciones en los conductos, permite obtener el más alto rendimiento térmico, ya que requiere para la combustión una base cuantitativa de aire (el exceso se ve producido a un 20%).

Los combustibles líquidos mejoran el rendimiento térmico en comparación con los sólidos, la más importante es que se puede dotar la cantidad de aire de combustión. Un sistema que trabaja con carbón requiere una cantidad de aire del 100% de lo que teóricamente sería necesario, consecuentemente tal exceso que sus trae calor, debido a que se encuentra a la misma temperatura de salida del horno, por lo que dicha pérdida abate el rendimiento térmico; en cambio un combustible líquido, por la clase que posee es más fácilmente mezclable con el aire comburente, requiere para la completa combustión de una cantidad de aire mucho menor, cerca del 40% más del aire teórica, por lo cual la pérdida de calor es notablemente más baja.

Además con el empleo de este combustible es más fácil la regulación del régimen del horno, de tal modo que es posible evitar cualquier transferencia nociva de temperatura.

Los combustibles líquidos son obtenidos por destilación del petróleo crudo entre otros tenemos.

Bencina ligera y pesada, queroseno, aceites de noma, parafina, lubricante, vaselina parafina y alquitran de petróleo, los aceites de combustión incluyen la gasolina y todos los productos situados entre el petróleo y los lubricantes.

Los aceites de combustión que rinden 10,400 a 11,000 calorías por Kg. tienen un peso específico interior a 1 y su viscosidades de 20 a 40.

COMBUSTIBLES SOLIDOS.- Actualmente estos representan los menos-utilizados en la industria cerámica, debido a lo complicado de su manejo y transporte. El carbón es clasificado por rangos de acuerdo a la transformación que sufre en la serie de lignita a antracita.

CARBON.- La composición del carbón se haya reportada de dos formas, el análisis aproximado y el último análisis. El análisis aproximado es por métodos prescritos en donde se determina a la muestra, materia volátil, carbón mezclado y soda, a continuación se da una tabla de valores caloríficos y un análisis aproximado, considerando la muestra libre de soda.

R a n g o	Muestra %	Mezcla de Carbón %	Material volátil	Valor calorífico BTU/lb
Meta-Antracita	16.3	80.5	3.2	11,480
Antracita	4.8	89.6	5.6	14,250
Semiantracita	2.8	85.7	11.5	15,010
Bituminoso, baja volatilidad	3.1	78.2	18.7	15,220
Bituminoso media volatilidad	2.2	71.8	26.0	15,240
Bituminoso A alta volatilidad	2.4	59.1	38.5	14,810
Bituminoso B alta volatilidad	9.5	49.7	40.5	13,090
Bituminoso C alta volatilidad	15.9	44.9	39.2	11,960
Subbituminoso A	17.5	46.4	36.1	11,050
Subbituminoso B	23.2	42.1	34.7	10,040
Subbituminoso C	26.9	40.5	32.6	9,180
Lignita	39.1	31.4	29.5	7,440

Donde notamos que el valor calorífico se incrementa con el incremento del rango y la muestra y la materia volátil decrecen.

El último análisis es en el que se determinan por métodos prescritos de la soda, carbón, hidrógeno, nitrógeno y oxígeno (por diferencia) y sulfuros, por medio de los valores obtenidos de ellos se puede determinar el valor calorífico. Este es el calor producido por un volumen constante por la combustión completa de una cantidad de carbón en un calorímetro de bomba de oxígeno bajo condiciones específicas y el resultado incluye el calor latente por vaporización de agua en los productos de combustión y se conoce como el alto valor de calentamiento y se obtiene:

$$Q_n = 145.44 C + 620 \left(H - \frac{O}{8} \right) + 41 S$$

donde; C, H, O, S, son los valores correspondientes obtenidos por el análisis de carbón, hidrógeno, oxígeno y sulfuros.

Ya que por diversas causas no siempre ha sido posible la utilización exclusiva del carbón tenemos una serie de materiales a los que se les ha dado este uso que por lo general son desperdicios y nos pueden proporcionar un cierto valor calorífico, a continuación se muestra una tabla con sus valores y composición.

TIPO DE DESHECHO	VALOR CALORIFICO BTU/lb	PORCENTAJE DE COMPOSICION				COMBUSTIBLE SECO
		VOLATILES	MUESTRA	SODA	SULFURO	
Papel	7,572	84.6	10.2	6.0	0.20	
Madera	8,613	84.9	20.0	1.0	0.05	
Trapo	7,652	93.6	10.0	2.5	0.13	
Desperdicios	8,480	53.3	72.0	16.0	0.57	
Caucho	10,996	81.2	1.04	21.2	0.79	78.8
Fieltro	11,054	80.87	1.50	11.39	0.80	88.61
Film de polietileno	19,161	99.02	0.15	1.49	0.00	98.51
Hule espuma	12,283	75.73	9.72	25.30	1.41	74.20
Cinta de resina	7,907	15.08	0.51	56.73	0.02	43.27
Desperdicios de fábrica de nylon	13,202	100.00	1.72	0.15	0	99.87
Espuma vinílica	11,428	75.06	0.16	4.16	0.02	95.44

Ante la gran variedad de elementos posibles para ser utilizados -- como combustibles es necesario tener presente alguna forma de -- elección para lo cual tenemos los siguientes criterios.

- 1.- Adaptabilidad al proceso
- 2.- Oferta; facilidad para adquirirlo y la seguridad del suministro.
- 3.- Costo:
 - 3.1).- Costo por unidad de potencial calorífico
 - 3.2).- Rendimiento por utilización
 - 3.3).- Costo por equipo
 - 3.4).- Mantenimiento del equipo
 - 3.5).- Mano de obra y comodidad de uso
 - 3.6).- Manipulación del combustible y de los residuos
 - 3.7).- Fuerza auxiliar
- 4.- Limpieza.

C A P I T U L O

I I I

HORNOS

Un horno no es sino un espacio cerrado generalmente hecho de ladrillos cocidos o algún otro material de alta resistencia al calor, en donde es aprovechada para algún trabajo específico la energía producida por la oxidación de un combustible, aún cuando sabemos que la construcción de tales equipos fué practicada hace siglos y sin tener presentes los principios de combustión, el actual diseño y operación son un factor económico de suma importancia en la Ingeniería Química.

CLASIFICACION DE HORNOS DE COMBUSTION.

La clasificación de los hornos se puede llevar a cabo de diversas formas, ya sea por su forma de trabajo, del tipo de combustible del tamaño o forma, ó simplemente por el nombre. En este caso los clasificamos de acuerdo a su forma de trabajo.

La utilización del calor en el horno puede ser directa o indirecta.

En el primer caso la flama del gas caliente penetra en la cámara de cocción y lame directamente el material en cuestión, lo que es generalmente con artículos bastos, sin barniz, ladrillos, tejas, macetas, piedra chamota, clinca y tubos.

El siguiente caso, la flama se limita a lamer la parte externa de la cocción, los cuales son objetos que reciben el nombre de muflas (capsulas cerradas) que estiban unas encima de otras en la camara del horno y que tienen por objeto proteger contra la llama directa, humo y ceniza a la mercancía que ha sido barnizada. Otra alternativa es usar hornos mufla con un departamento interior construido con planchas refractarias que exteriormente es calentado por las llamas.

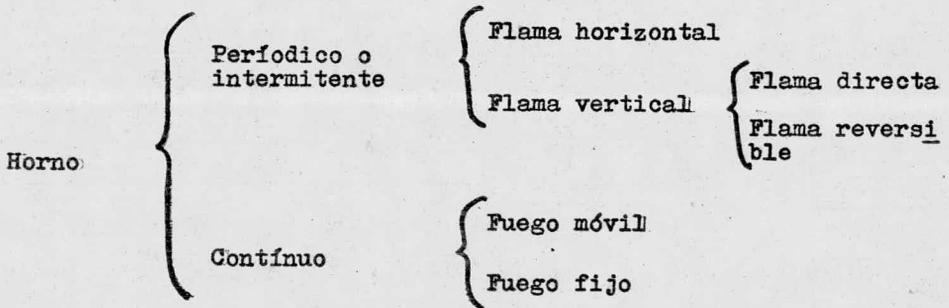
Este tipo de operación requiere de un mayor consumo térmico, ya-

que las muflas, capsulas y materiales de estiba tienen un peso relativamente mucho mayor que la mercancia y por lo consiguiente - la construcción del horno resulta más pesada.

La cocción puede ser continua o intermitente consecuentemente un horno desde el punto de vista de funcionamiento puede ser clasificado en horno continuo o en horno (periodico) intermitente.

El caldeo periodico quiere decir que por cada cochura, se calienta y se enfria el horno. Este sistema es el más antiguo y el que se sigue empleando en la pequeña industria. El caldeo continuo o ininterrumpido es generalmente usado en las empresas con constante y grande producción.

Cada cual de los casos mencionados anteriormente puede recibir otra clasificación, se pueden resumir de la siguiente forma:

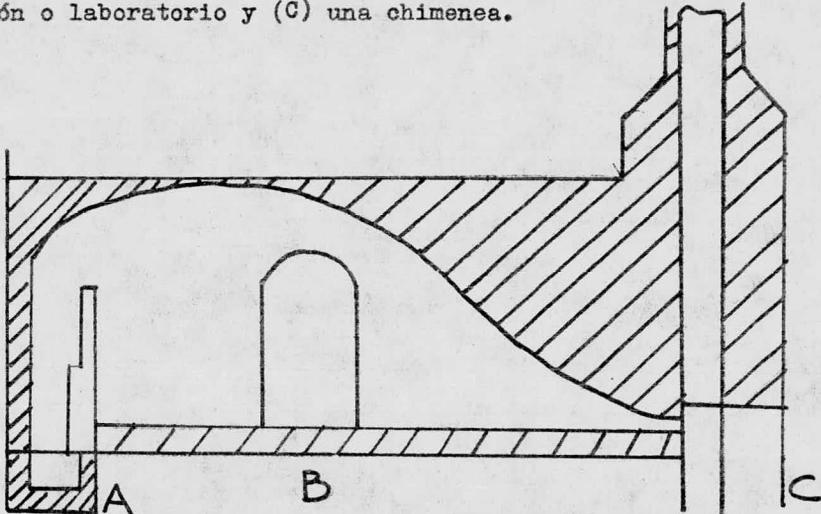


EL HORNO PERIODICO O INTERMITENTE

Un horno intermitente de flama horizontales referido precisamente al desarrollo horizontal de la flama en la cámara de combustión.

Estos hornos son provistos de un solo quemador situado en un extremo, mientras que en la extremidad opuesta se encuentra situado el conducto de tiro.

En estos podemos mencionar el horno Cassel o Kasseler, este es - un tipo de horno muy antiguo y fué muy usado para la cocción a - altas temperaturas de tejas y alfarería. Está compuesto de tres - secciones elementales, que son: (A) un hogar, (B) una cámara de - cocción o laboratorio y (C) una chimenea.



La flama es el gas que se libera de la parrilla y se dirige al - laboratorio pasando por un muro que recibe el nombre de altar, - que también puede ser una pared de refractario horadada que dis - tribuye la flama por toda la altura del laboratorio, este último es una sección alargada que tiene una puerta, cerrada durante la cocción y ayuda al flujo de calor durante ella. Sirve para hor - near y deshornear el material, del laboratorio el humo sigue en - dirección hacia la chimenea.

Al tipo de hornos intermitentes de eje vertical y flama directa - pertenecen los tipos de horno empleados en la antigua mayólica, - también fueron ocupados para la cocción de fayenza barnizada y - esmaltada, aún es posible encontrar este tipo de hornos en fábr - cas a nivel artesanal. Dichos hornos constan de 3 compartimien - tos sobrepuestos, la sección generalmente es cuadrada.

La cámara inferior se encuentra semienterrada y está reservada - para el hogar, el piso intermedio es el laboratorio o cámara de -

cochura y en el superior se encuentra el horno.

Esta disposición del hogar bajo la cámara de cocción, es una boveda de alimentación normal al horno, el combustible son manojos de leña. La llama generada en el hogar se dirige al laboratorio, a través de una corona de pequeños hoyos hechos sobre la boveda. La leña se encuentra sobre un piso refractario horadado en forma de rejillas que actúa en forma de una parrilla, el aire proviene del cinerario inferior.

En el laboratorio son puestos a cocer los objetos para su acabado, los cuales son colocados en compartimientos adecuados, mientras que en el horneador son tratados los objetos para el biscochado, los cuales son previamente secados. El gas de combustión sale a la última cámara, por medio de otra corona de hoyos que está situada sobre la boveda del laboratorio y se distribuye en la parte alta del horno de donde finalmente sigue a la chimenea para su salida a la atmósfera.

El hogar difiere por su construcción en unos casos se provee de una rejilla de refractario, en el cual lleva por delante dos aperturas semicirculares sobrepuestas, la interior es más pequeña y está al nivel del piso del hogar, la superior es más grande y se encuentra sobrepuesta inmediatamente a la anterior, en esta 2a. apertura se alimenta la leña en forma de palos largos, de tal forma que queden inclinados, el aire entra también por la apertura superior que naturalmente permanece abierta y se pone en contacto con la leña, activando la combustión. Por la boquilla inferior se extraen las brasas que anteriormente se acumularon en cantidades excesivas.

Otro tipo de hogar sin parrilla; es usado en la fabricación de Abruzzo estas presentan delante una sola apertura circular situada a casi toda la altura de la boveda de la cámara de combustión en ella se introduce la leña y se acomoda al fondo de la cámara, el aire entra por la misma apertura; no siendo un flujo continuo, obliga a un ritmo alternativo que recibe el nombre de respiro. -

tal fenómeno se verifica también en el hogar del tipo precedente se extiende considerando que por el efecto del tiro se crea en el hogar una depresión, la cual va a ser compensada posteriormente por un nuevo flujo de aire que entra por la apertura; alcanzando el equilibrio cesa la entrada de aire y toma nuevamente el tiro y así continúa sucesivamente. La sección de la boca requiere de un juego alternativo de presión igualmente en cuanto se verifica el reflujo de un líquido a través del único orificio del recipiente.

También por efecto del tiro la flama tiende a salir preferentemente a lo largo de la pared del fondo del hogar; así que a lo largo de la pared inmediatamente sobrepasa la apertura de ingreso del aire. Para eliminar la inevitable diferencia de temperaturas que se crea en la cámara de cocción, se disminuye, a lo largo de la susodicha pared del fondo el número de canales que conducen la flama.

Este tipo de hogar sin parrilla presenta la ventaja de asegurar en su amplia cámara una combustión completa, por lo que queda excluida la eventualidad del poder producido por el humo en la cámara de cocción. Así se tiene una incómoda forma de conducirlo; ya que primero se ve obligado cada tanto a extraer las brazas incandescentes del piso del hogar y segundo obligado por la ascensión, a la entrada del fuego a través de la apertura circular de la cual esta provista,

Sucesivamente un horno de flama directa se transforma, sustituyendo el hogar único dispuesto bajo el laboratorio por un hogar de parrilla, colocado lateralmente en lo más bajo del suelo del horno abandonando la configuración de la planta de sección cuadrada para asumir una de sección circular, más idónea para distribuir el calor de la cámara de cocción, este horno así transformado viene empleándose incluso para la cocción de porcelana.

HORNO CONTINUO

HORNO ANULAR (HOFFMANN) .+ Este tipo de hornos fué diseñado para el cocimiento de ladrillos y ha ocupado un lugar preponderante entre otras construcciones de hornos.

Han sido extremadamente eficientes y han dado ventajas a la industria cerámica, porque demandan un calentamiento gradual y un enfriamiento lento.

Estos hornos trabajan en forma continua con el sistema de combustión móvil y en ellos hay un gran aprovechamiento de calor.

Las primeras construcciones fueron hechas en forma circular y requerian de combustibles sólidos y con una serie de galerias, con aperturas a distancias iguales (12 a 30°) que servian para la introducción de la mercancía, posteriormente fueron construidos en forma elíptica y después en forma rectangular, por lo general poseen una longitud de 60 a 100 mts. La galeria está dividida en una serie de cámaras que son entre 14 a 20, dichas cámaras no son separadas por medio de paredes sino por planchas de papel que se colocan entre los ladrillos y tapan los lados de una o dos cámaras; cada cámara tiene un portal que se encuentra colocado en la pared exterior y que mientras se efectúa la cocción permanece cerrado, un respiradero que se cierra desde arriba y también conduce al canal de humo y chimenea.

La figura es un dibujo esquemático de un horno anular reducido en el que todas las cámaras están llenas y todas las puertas cerradas excepto las que dan a las cámaras 1 y 2. Hay dos planchas de papel que limitan la cámara 12, las restantes están quemadas.

La cámara 8 se encuentra en acción, la alimentación de combustible tiene lugar dosificando el mismo en tubos verticales que pasan por entre ladrillos a cocer.

El aire fresco entra por succión de la chimenea por las puertas-

de cámara 1 y 2 y pasa por los productos cocidos que, partiendo de 3 a 7 tienen temperaturas creciente. Con ello se consigue que la mercancía se enfríe, pero al mismo tiempo se aprovecha el calor de los artículos y de las paredes para el secado y se consigue que el aire fresco llegue muy caliente al hogar, lo que representa un gran ahorro de combustible. El humo deja el hogar -- con una temperatura de 900° .

En su camino a través de las siguientes cámaras se enfría a unos 250° . Con ello los ladrillos se calientan fuertemente, antes que empiece su cochura. En el dibujo se ve abierta la salida de humo en la cámara 11.

Con miras a una buena economía de combustible, el humo debe hacerse pasar por tantas cámaras como lo permita la succión de la chimenea. En la práctica la corriente tiene que establecerse con frecuencia a 2, 3 cámaras más allá del hogar encendido. A veces se ayuda la succión con un ventilador, la compuerta de papel de la cámara 12 impide la corriente de aire frío de desde la cámara 1.

En las cámaras 1 y 2 la temperatura es moderada y se puede trabajar. Se llena de ladrillos y tejas frescas y se sacan los cocidos en 3.

El hecho de que la cámara 12 se halle aislada con tabiques de papel en ambos lados, se debe a que el humo del hogar con su contenido de hollín, cenizas, azufre y vapor de agua, no debe si es posible, entrar en contacto con los ladrillos fríos si se quieren evitar decoloraciones. Para ello hay instalado en el horno -- un canal de escape (no ilustrado). Este canal puede ponerse en comunicación con cualquier cámara del horno. Si comunicamos por ejemplo la cámara 5 con la 12, la succión de la chimenea atraerá una parte de aire puro y nuevo, que puede tener $200-300^{\circ}$ de la cámara 5 a la 12. Con ellos se calientan los ladrillos frescos -- de la 12, por ejemplo a 120° . Más tarde cuando la cámara se pone

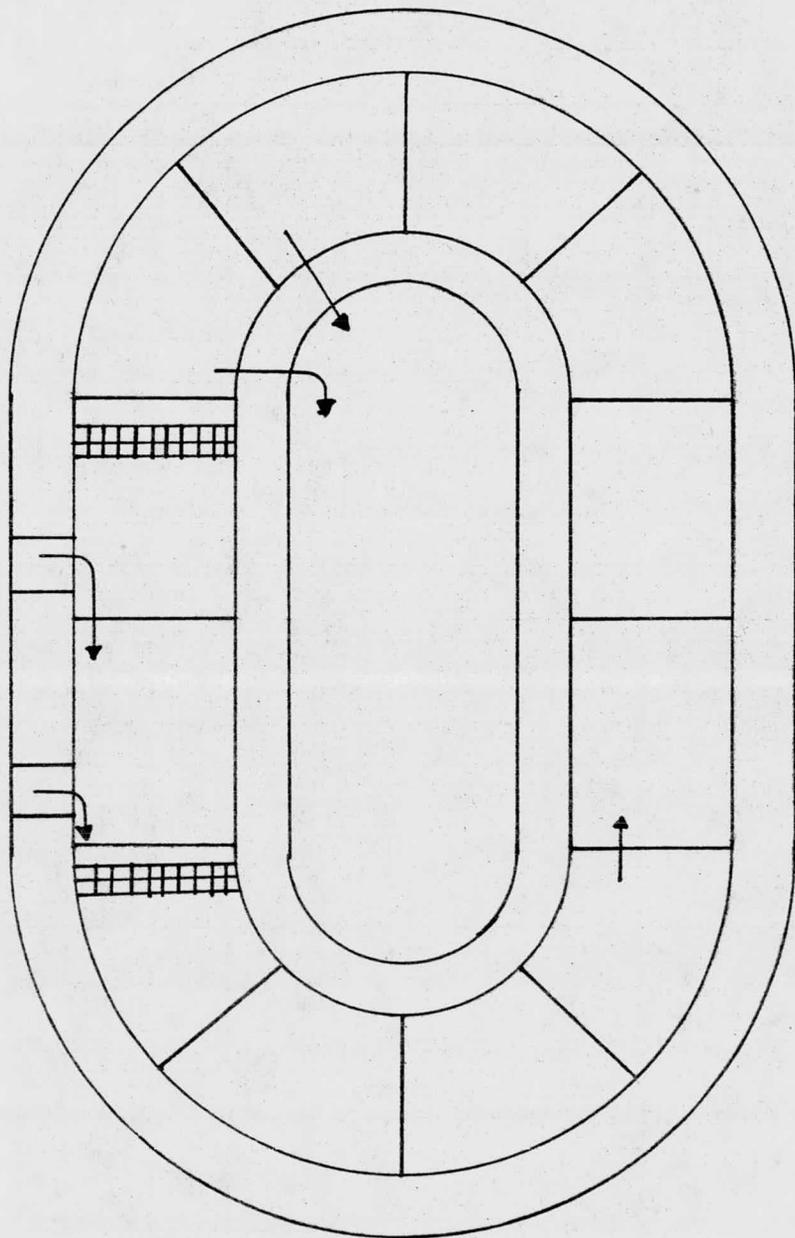
de nuevo en comunicación con el circuito normal el humo encontrará ladrillos secos y cálidos, evitándose así en su mayor parte - dichas decoloraciones.

La figura ilustra un plano y sección más detallados de un horno-anular. El canal de escape 1 esta encima y en medio del canal de humo 2, con el conducto de la chimenea 3 se comunica debajo tierra. El respiradero de humo 4 pasa del fondo de la cámara al canal de humo. Hay otros hornos construidos con respiradero de humo en el muro exterior. Son preferibles por el hecho de que procuran mayor uniformidad térmica.

El horno debe levantarse sobre tierra bien seca. Los canales deben inspeccionarse a menudo. Los tabiques de papel deben ajustarse bien a las paredes y al techo. Las cámaras acabadas de llenar deben tener abierto un poquito el respiradero a la chimenea. El aire absorbido y el calor de las paredes, puede secar algo los ladrillos. Más tarde se deja pasar aire caliente de escape y pasado un tiempo, el tabique de papel puede finalmente romperse o quemarse, dejando que pase el humo a través de la cámara.

La última valvula de humo se aproxima al tabique, puede abrirse a medias, la penúltima totalmente. La distancia del fuego al tabique debe ser a la menos 4 cámaras. El fuego se traspasa a la cámara siguiente cuando esta arde en el fondo. La temperatura es superior a 500°.

El fuego avanza unos 8 m. al día. La respiración de humo se traslada cada vez una cámara más alla y se desgarran o quema un tabique de papel así como cada vez se llena y se vacia una cámara. - En una área de horno de 7 a 8 m² pueden cocerse de 20 a 40 mil ladrillos al día.



HORNO CONTINUO DE FUEGO FIJO.

HORNO TUNEL.- Su principio está basado en que la zona de coci-
miento es fija, mientras que la mercancía está en movimiento, --
atravesando dicha zona.

Estos hornos no son sino un largo canal en donde es conducido un
tren de carros sobre rieles. Los carros en su parte inferior es-
tán cubiertos por un revestimiento de material aislante y refrac-
tario de un espesor considerablemente grueso, tienen también un-
tope o saliente con su correspondiente ranura en las paredes del
horno que es por donde resbala, están provistos de una plancha -
en la parte inferior del carro que se hace patinar sobre arena -
creando de tal forma mayor hermetismo en el sistema.

Para protección de los efectos del calor sobre las ruedas se ha-
ce circular una corriente de aire frío por debajo de los carros-
a lo largo de los rieles y las ruedas, los carros son ajustados-
entre si evitando espacios libres entre ellos y son empujados a-
lo largo del túnel por medio de un dispositivo especial.

Este tipo de hornos es muy empleado en la fabricación de artícu-
los bastos en grandes dimensiones así como en la fabricación de
fayenza o en la cocción de porcelana.

Se ha visto que el caldeo en estos hornos es mejor con gas, pe-
tróleo o un sistema eléctrico.

Descripción de un horno túnel calentado con gas.- El horno es -
ocupado para la fabricación de porcelana con temperatura una co-
cimiento de 1450°C , es de una longitud de 80 a 90 metros. Las cu-
biertas de los vagones son unas planchas refractarias con una se-
paración entre ellas y están soportadas por cuatro columnas. El-
fuego es alimentado a la altura de las cubiertas a partir de ahí
el fuego cnece la mercancía, la cual consiste en cápsulas estiba-
das hacia arriba, la zona de cocimiento se encuentra colocada en
la mitad de túnel, en la figura marcada con la letra B, lugar en

donde se alimenta el gas y una cierta cantidad de aire fresco.

El aire se despla_a a contracorriente en relación al desplazamiento de los vagones (de CaA) en esa trayectoria a partir del hogar el calor de la mercancía es radiado al aire fresco (aire secundario) que es alimentado en la sección D con dirección al hogar. - El techo está provisto de canales que son utilizados para el caldeo del aire. El aire caliente de la cocción en la trayectoria del hogar a la chimenea (e) hace contacto con el tres de vagones calentando el producto estibado y enfriandose a su vez, para mantener una corriente lo más uniforme posible es necesario que las puertas estén muy bien cerradas principalmente en la entrada (C).

El tiempo de la operación completa (estibarse, secarse y cocerse) puede ser de 48 horas.

La capacidad de este horno es equivalente a la de 10 hornos anulares con un volúmen de 65 m³ cada uno.

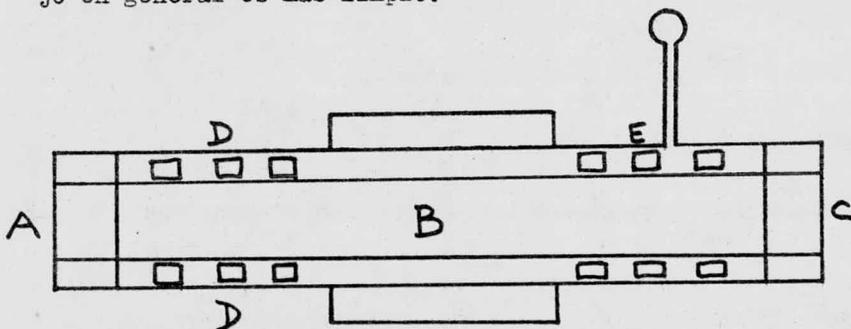
En el caso de los hornos túnel que son calentados con corriente-eléctrica, también se puede usar el aire caliente conduciendo lo para calentar los productos frescos. Se ha podido tomar otra alternativa que consiste en su aprovechamiento cuando se construye un horno túnel doble con vagones adelantandolos en direcciones opuestas. Las zonas igneas están separadas pero el elemento de separación entre los dos tuneles es eliminado de tal forma que se puede obtener una nivelación térmica. Cuando la mercancía de un riel ya ha sido cocida está sirve para el caldeo de la mercancía cruda del otro. Este sistema se ha ocupado para porcelana de tal forma que la cochura final a 1400° tiene lugar en el túnel principal y la cochura preliminar se efectúa en el lateral, aprovechando el calor del primero, evitando así la utilización de un hogar extra.

Los hornos de este tipo tienen una longitus de 80 a 90 metros y su consumo eléctrico asciende a 600 kilovatios y la producción asciende a un promedio de 2.5 a 2.8 toneladas de porcelana por -

día en un balance que incluye la primera cocción se muestra que por cada kilo de porcelana se requiere un gasto de 4.5 kilovatios-hora en el caso de hornos menores para porcelana técnica, - hay utilización de cintas de rodillos en lugar de vagonetas. En ellos el calor se regenera mediante corrientes de aire a lo largo del túnel, su consumo energético se reduce a 0.22 kilovatios-hora por kilogramo de porcelana.

Los costos de instalación de el horno túnel son elevados y se requiere de un espacio muy grande, por otro lado las ventajas son bastantes ya que solo la cámara de cocción es la única sección - que debe construirse y aislarse con vistas a temperaturas elevadas ya que hacia los extremos la construcción es más sencilla. - Por el lado de la mercancía, esta tiene mayor protección ya que nunca se exponen a fuertes y bruscos cambios en la temperatura, - se ahorra mano de obra, su manejo durante el estibado es más cómodo ya que se hace en lugares abiertos con los vagones apropiados, la desventaja en el manejo es que en caso de que la carga - llegue a caer es necesario apagar el horno y sacarla.

Si se trabaja con una recuperación de calor adecuada, la cantidad de combustible se reduce quizá a menos del 50% de lo que es consumido por un horno de cámara o de piso, además de las ventajas que representa el tiempo de cocimiento más corto y el trabajo en general es más limpio.



HORNOS ELECTRICOS

De tal forma se conoce a una serie de aparatos de caldeo cuyo principio es la utilización de la energía eléctrica como fuente de calor, estos están siendo utilizados cada vez más en la industria cerámica. La transformación de la energía eléctrica a calor es efectuada por medio de resistencias cuyos elementos dependen del grado de temperatura deseado por ejemplo:

Hilo de níquel	---	1100°
Kantal (Aleación Fe, Cr, Al)	---	1250°
Silita (Carburo de silicio)	---	1450°

un kilovatio-hora genera 860 cal/Kg y esto es equivalente a lo que se obtendría con 125 gr. de carbón.

Existen una serie de situaciones que comparativamente con otros tipos de hornos dan cierta jerarquía a estos, entre otras ventajas destacan:

- 1) No existen pérdidas en chimeneas y parrillas.
- 2) Si se aíslan bien las paredes la pérdida térmica se ve reducida y consecuentemente las dimensiones del horno también no habiendo canales de fuego ni de humo.
- 3) Al no existir hogar que dosificar debido a la regulación y cierre automáticos, la mano de obra se abate considerablemente.
- 4) Poseen la ventaja de poder ser utilizado como cámaras de secado, sin necesidad de encendidos complejos, antes de que se inicie el cocimiento.
- 5) Tienen un tiempo de cocimiento corto los hornos menores de 1 m³ tardan menos de un día en enfriarse.

6) La limpieza del proceso es mucho mayor.

Los hornos de resistencias para temperaturas entre 1000 y 1100° C. están provistos de espirales térmicas en los fondos que también en las paredes y es conveniente que existan estas incluso en la parte interior de la puerta.

Para hornos pequeños con un volumen de 0.25 a 1 m³ el período de cocido puede calcularse entre 7 y 12 horas de acuerdo al consumo que es variable por ejemplo para un horno Brown-Boveri cuyo volumen es de 0.28 m³, corriente de 15 Kw, cuando está totalmente cargado de mercancía consume entre 90 y 100 Kw/h para una temperatura de cocimiento de 960°C.

La duración de tal operación es de 7 horas.

Para hornos periódicos el calor que se pierde es utilizado para medios de calefacción en los secadores.

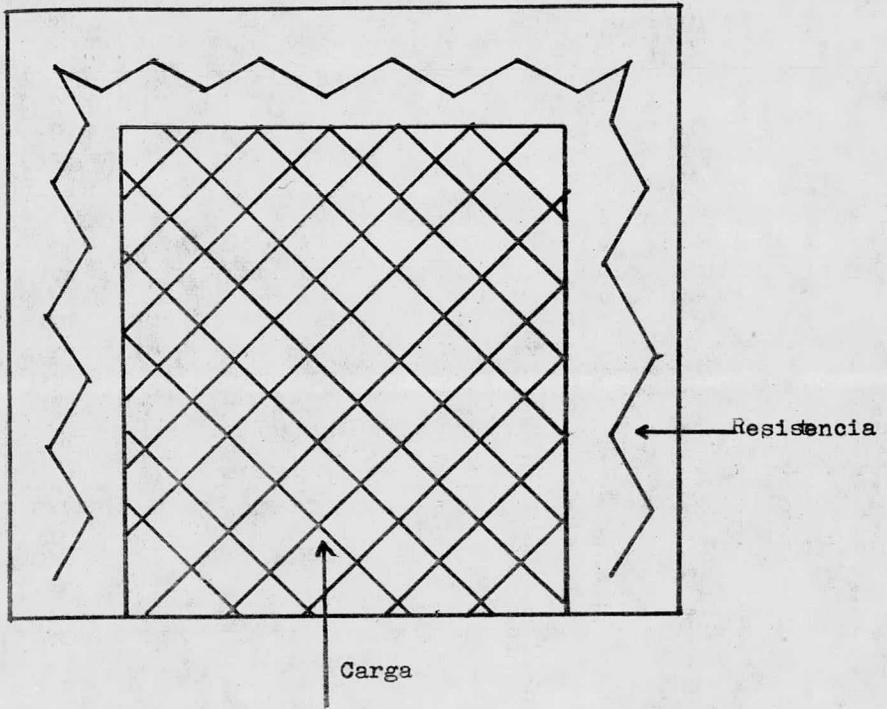
Los hornos con sistemas de carros de hogar y rieles recuperan una parte del calor en el horno ya que mientras uno está en operación otro se está llenando, el cambio se efectúa cuando el horno se está enfriando y se ha llegado más o menos a 350° entonces el calor es aprovechado por los productos frescos que de tal forma son calentados unos 200°C previo al inicio de la corriente

Este tipo de cocimiento tiene lugar en aire puro (atmósfera oxidante) y en algunos casos como los hornos de níquel-cromo se introducen medios reductores en donde se ha notado que hay una mayor cantidad de pérdidas por cochuras defectuosas.

Si la carga está compuesta de piezas pequeñas y se puede obligar a pasar el aire entre ellas, se obtendrá una disminución en el espesor crítico para el caldeo.

Sabemos que los hornos eléctricos son clasificados de acuerdo a

como es convertida en calor la energía eléctrica y a su vez directos o indirectos por lo tanto los hornos electricos que se usan en la industria cerámica corresponden al tipo de hornos de resistencia indirectos, debido a que el calor generado es transferido por cualquiera de las tres formas de transmisión de calor hacia la carga. Es decir que aquí la carga no forma parte del circuito de calentamiento.



Ya que las temperaturas empleadas son consideradas altas, las paredes y puertas deben ser objeto de un diseño minucioso, en algunos casos las paredes constan de 3 o 4 capas de materiales diferentes.

C A P I T U L O

I V

C A P I T U L O I V

ESTUDIO COMPARATIVO DE HORNOS.

Debido a que en los hornos cerámicos discontinuos y en algunos - casos especiales también los continuos, los productos de la com- bustión son expulsados a temperaturas altas y que por lo consi- guiente llevan una gran cantidad de calor, la cual no ha podido tener un uso directo en el horno, es muy necesario tomar medi- das adecuadas para hacer útil esa energía que de alguna forma - nos representará beneficios tanto técnicos como económicos. Pa- ra ellos es preciso tener una idea de que sucede con el calor - que se genera.

Los hornos deben ser calentados gradualmente de acuerdo al tipo de mercancía que se va a cocer, la mercancía delgada no requie- re de demasiada lentitud como la mercancía gruesa que puede ser echada a perder, si la temperatura es incrementada muy rapida- mente, la contracción tiene lugar primero en las capas externas de los objetos y posteriormente el agua que está en el cascajo- va a generar una presión de vapor que consecuentemente reventar- á la mercancía.

Cuando se calienta el horno, se debe dotar a los quemadores o - al hogar de una cantidad de combustible que debe ser calculado- lo más aproximado como se mencionó anteriormente (capítulo II). De tal cantidad no toda es aprovechada en el calentamiento de - los materiales que se van a cocer. Esta calor útil es empleado- para:

1. El calentamiento de la mercancía desde su temperatura ini- cial hasta la final o de cocimiento.
2. Es empleado para la evaporación del agua mezclada mecanica- mente, la cual no es posible eliminar aún cuando se halla - llevado a cabo un secado con aire.

3. Desligamiento del agua unida químicamente y descomposición química de la arcilla.
4. Para las transformaciones físicas tales como: Cuarzo a cristobalita, el vidriado de la arcilla, calor de fusión del barniz, etc.

Para tener una idea más clara de el equilibrio térmico en diferentes procesos se muestra la siguiente tabla:

- A = El calor útil
- B = Pérdida a través de las paredes
- C = Pérdida con el humo
- D = Pérdida en el fogón
- E = Otras pérdidas

Distribución térmica en %	A	B	C	D	E
Hornos periódicos de cámara. Temperatura de cocción 1000-1100°. (Terracota, baldosas, etc.).....	12	59	25	4	
Hornos circulares, 6,10 metros diámetro. Temperatura cocción 1180°. (Arcilla chamota).	22,9	22,1	39,5	7,5	0,8
Horno de porcelana, tres pisos, capacidad para cochura 95 m ³ , 3 K 13,4,19 toneladas de porcelana + cápsulas 33,5 toneladas, - 4,2 toneladas de productos + 20,0 toneladas cápsulas. Consumo de carbón 4,24 kilos (a 6.500 cal.) por kilo de porcelana.					
Cochura de lustre	1,8				
Cápsulas	9,5				
Cochura previa	5,7				
T o t a l ...	17,0	37,3	40,7	5,0	

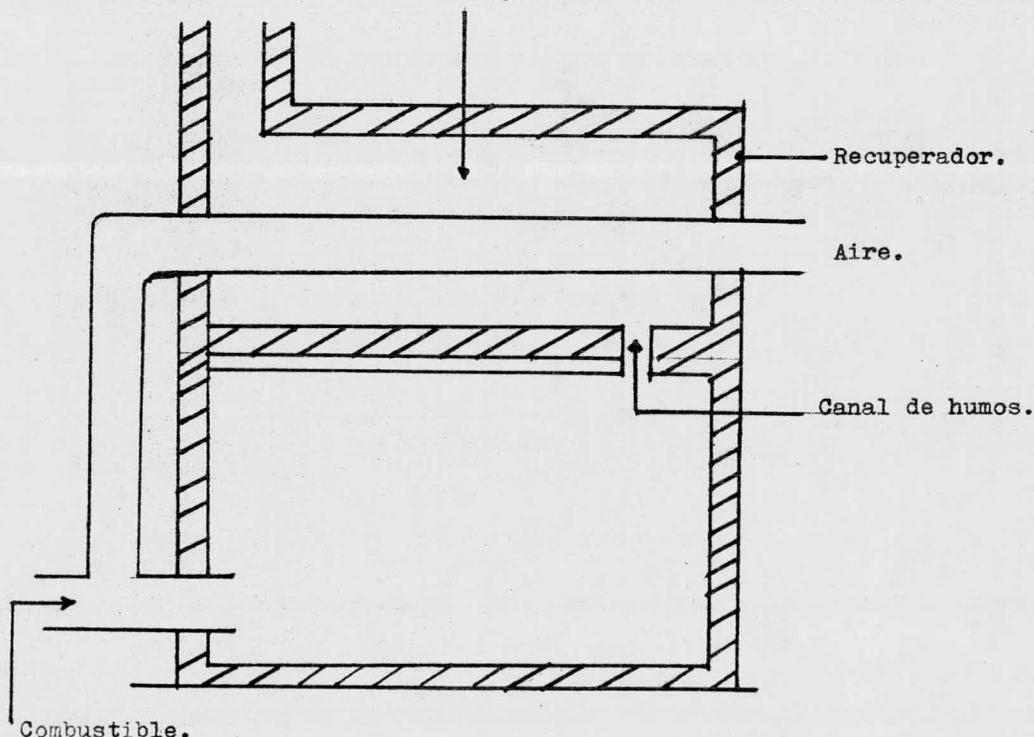
La otra parte que no es aprovechada en ninguno de los puntos anteriores

res cabe ser utilizada en otro tipo de instalaciones entre las - cuales podemos mencionar; recuperadores o generadoras de calor o bien en las cámaras de secado o calefacción.

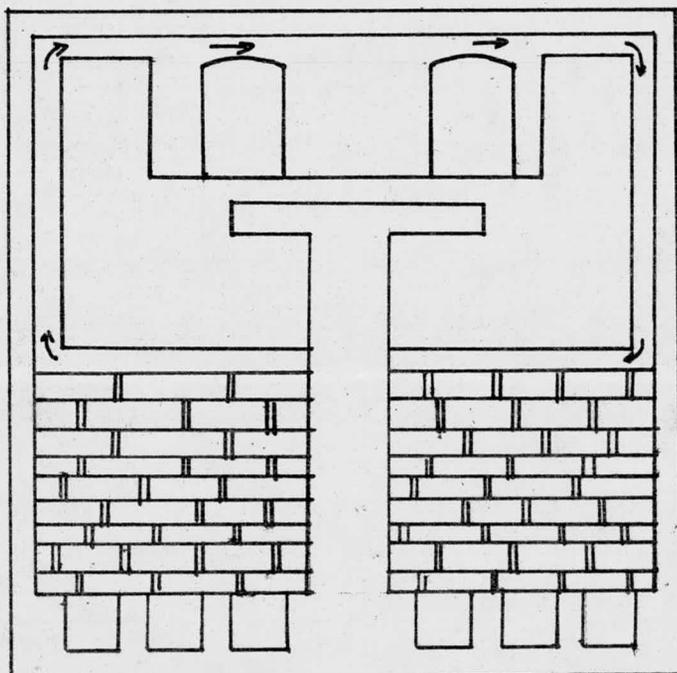
Una buena parte del calor es recuperable y aprovechada en el pre calentamiento de las piezas frías o incluso del aire de combus-
tión. Esto es a menudo logrado por dos métodos.

En el primero los gases de combustión al salir transfieren una - cierta cantidad de el calor que poseen al aire que está entrando con un flujo uniforme por medio de una pared, este sistema de intercambio calorífico es conocido como recuperador y a menudo a - los hornos que lo emplean se les conoce como del tipo de recupe-
ración.

Superficie de intercambio térmico.



El otro método es aprovechar también el calor de los productos de combustión salientes, impartiendo lo hacia la mercancía colocada en una cámara de intercambio térmico, mientras que el aire en trante absorbe el calor de la mercancía de otra cámara de intercambio que fué calentada previamente por medio de los gases de — combustión. Es conveniente hacer una inversión de la llama a intervalos regulares.



Los productos de combustión que se generan son ácido carbónico y vapor de agua, además el aire contiene unas 4-5 partes de nitrógeno además del oxígeno, que contribuye también a la pérdida de calor. El calentamiento vé su mejor economía cuando la alimentación de aire es tan grande que todo el carbón es transformado a ácido carbonico y todo el hidrógeno es convertido en agua.

Si la compuerta está totalmente abierta y por lo tanto el exceso de aire las pérdidas de calor son incrementadas, en este caso - el fuego es oxidante y la llama es clara. Por otra parte si la corriente de aire se disminuye el horno quemará con deficiencia de aire, se observa una gran acumulación de hollín y hay una gran pérdida térmica en forma de Co y negro de humo. Este es un fuego reductivo que pese a los problemas que presenta es utilizado en la fabricación de algunos productos por ejemplo en el cocimiento de la porcelana cuyo objeto es fabricar una pasta blanca, otro caso es el cocimiento de la arcilla roja que bajo estas condiciones del fuego se vuelve gris. Cuando se emplea el fuego reductivo las especies férricas se forman especies ferrosas y por lo tanto es perceptible un cambio de color.

Es muy importante por tanto para tener una buena economía en el cocimiento a la vez de lograr los resultados deseados la regulación del aire y la compuerta.

Si los hornos son pequeños la regulación se lleva a cabo generalmente por la experiencia pero el caso contrario si hablamos de producción masiva de porcelana por ejemplo, se requiere hacer análisis continuos de la composición de los gases de salida que pueden ser efectuados por medio del aparato de Orsat o bien comparatos e instrumentos automáticos que a determinados lapsos de tiempo toman muestras y grafican la composición del humo.

En todos los hornos tiene efecto una pérdida de calor a través de las paredes del horno que se a observado en algunos casos que no están bien aislados es hasta del 30%, esta pérdida es mucho menor cuando se trabaja con hornos continuos en comparación con la pérdida que se tiene en hornos periódicos, en los que el paso de la mercancía fina es considerablemente mucho menor al paso de las cápsulas, muflas de chamota y materiales de estiba que son sometidos en cada cocimiento.

En hornos de parrilla hay pequeñas pérdidas de combustible por la caída de brazas a través del emparrillado. Deben ser evitadas falsas corrientes producidas por grietas que permiten la succión de aire frío fuera de la parrilla, estas grietas deben ser controladas en el muro, las compuertas etc.

AISLAMIENTO TERMICO

De la tabla que representa diversos valores para el equilibrio térmico en hornos podemos observar que las pérdidas a través de las paredes representan un factor bastante poderoso en el consumo de energía, por lo cual es necesario tomar medidas adecuadas para evitar lo máximo posible que esta cantidad de calor sea desperdiciada. Un recurso cuya utilización representa beneficios técnicos y a lo largo económicos es el aislamiento térmico de las paredes del horno, lo cual no es sino una resistencia al paso del calor a través de la siguiente ecuación podemos observar sus ventajas-

$$Q = \frac{A T}{R}$$

donde Q = flujo de calor

AT = gradiente de temperaturas

R = resistencia

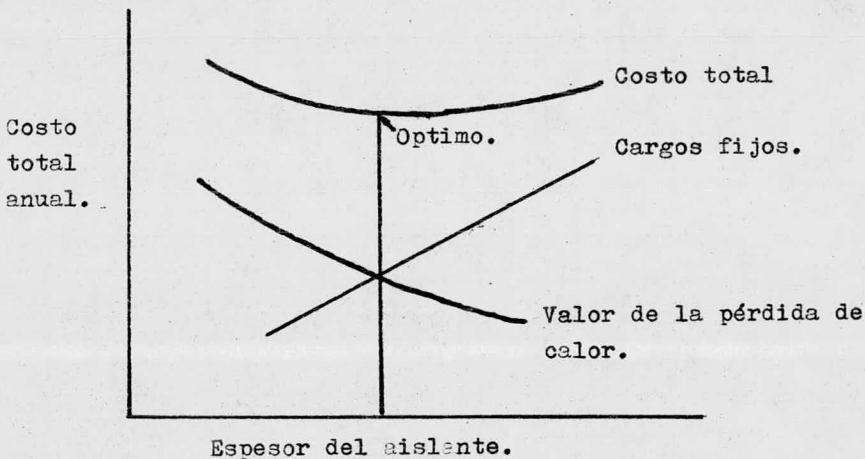
Notamos que si el valor de la resistencia es mayor, la cantidad de calor que se perdería será menor, esto es logrado usando materiales que son distinguidos por su baja conductividad térmica.

Los materiales usados para estos fines son fabricados con arcilla cocida en estado poroso combinandolos con materiales orgánicos que desaparecen durante el cocimiento.

La elección del material a utilizar depende de la aplicación ya-

que es necesario evaluar otras propiedades como la resistencia-mecánica ya que en ocasiones es necesario sacrificar la baja -- conductividad y el peso bajo por tener un valor adecuado de -- ella.

Desde el punto de vista económico se evalúa el espesor óptimo -- sumando los valores de pérdidas de calor y los cargos fijos obteniendo así un costo óptimo.



De la gráfica se observa que a menor pérdida de calor el espesor del aislante, costo inicial y cargos anuales son mayores.

Un horno aislado nos representa las siguientes posibilidades.

- 1) Evita pérdidas.
- 2) Facilitar el control de la temperatura dentro del horno.
- 3) Control de la temperatura exterior de los espacios aislados.

La tabla siguiente muestra el ahorro de calor que proporciona el aislamiento térmico.

	Horno sin aislamiento (BTU)	Horno Aislado (BTU)	
		Como usualmente se calcula	Como Ocurre
Calor que pasa - por las paredes	50,000	25,000	25,000
Calor perdido en los gases por la chimenea	50,000	50,000	25,000
Calor que se provee al horno	100,000	75,000	50,000
Calor ahorrado %	0	25	50

ASPECTOS TECNICO ECONOMICOS PARA LA ELECCION DE UN HORNO

Cuando se han establecido parámetros tales como producción anual, tipo del proceso, balances de materia y energía, etc. y se ha de llevar a cabo la instalación de un horno o grupo de hornos, debe enfocarse la selección al mejor tipo de horno y la fuente de energía calorífica más adecuada sin olvidar que el objetivo principal es el costo mínimo por unidad de producto acabado vendible.

Para lograr los mejores resultados en tal elección es necesario efectuar una serie de comparaciones, dichos resultados son efectuar un mínimo de gastos y evitar problemas tanto al usuario y suministrador de combustible y materiales para el horno.

Con la clasificación de hornos y la fuente de energía calorífica podemos hacer una serie de combinaciones posibles de trabajo pero basandonos en la experiencia y publicaciones de diferentes hornos que están en operación manifestaremos algunas ventajas y desventajas que pueden en algún momento dado dar la pauta para -

una elección positiva.

I) HORNOS PERIODICOS

Estos hornos han sido a través de el tiempo los más usados en la industria cerámica. Sus ventajas principales son:

- a) Un costo de instalación que se puede considerar bajo.
- b) Flexibilidad en operación.

Las desventajas que suele tener son:

- a) La pobre economía del combustible
- b) Si la carga es estibada alta hay una gran desigualdad de -- temperaturas.
- c) El desgaste de los ladrillos de trabajo por los constantes - calentamientos y enfriamientos.

Actualmente este tipo de hornos estan siendo desplazados por los hornos túnel pero en algunos casos de producción especial de formas largas o ladrillos especiales seguirán siendo utilizados estos.

Para el cocimiento de refractarios en hornos periodicos, la corriente de aire es descendente y la geometría del horno puede -- ser rectangular o circular. Los circulares son preferidos por la inversión menor y una posible distribución de temperatura y más-- homogénea.

Por lo general los hornos circulares están hechos con un diámetro interior que puede variar de 26 a 42 ft. pero los que son -- más utilizados son los de 30 a 36 ft.

Su rango de capacidad oscila entre 30,000 a 140,000 piezas. Los quemadores son arreglados alrededor y pueden variar entre 8 a 18 según el tamaño y tipo del horno.

La construcción de sus paredes es por lo general la misma donde hay una divergencia grande es en los arreglos para el piso y la chimenea.

A continuación se muestra una tabla de datos sobre las dimensiones de este tipo de hornos.

AREAS DE HORNO

Altura del piso a la tapa de la corona (ft)	11 - 19
Altura de bolsa de pared acerca del piso (ft)	3 - 5
Area abierta del piso, % de área	2.8 - 10
Area de rejillas, % de área	8 - 17.6
Area de chimenea, % de área	1.4 - 3
Area de carga, % de área	1 - 1.6

A continuación se muestra un buen diseño de horno redondo de tiro descendente que es ocupado para el cocimiento de refractarios.

Generalmente el cambio de operación en estos hornos (para cocer-refractarios) es de 14 días, de los cuales 4 1/2 son ocupados para el cocimiento, 5 1/2 para el enfriado, 2 días en descarga y los restantes para cargarlo de nuevo.

El período puede alargarse en ocasiones como por ejemplo si se está cociendo ladrillo con silice, ya que la temperatura de operación es mayor.

Actualmente hay nuevas técnicas que procuran la aceleración de la cocción y el enfriamiento para ellos son ocupados soplos y succión por medio de ventiladores, así el tiempo de operación se ve disminuido hasta en un 50 %. No obstante hay un límite para la velocidad del cocimiento ya que no debemos olvidar nunca las propiedades de la arcilla usada, lo mismo con la velocidad de enfriamiento es limitada por la serie de tensiones ejercidas por el horno mismo y los problemas que puede ocasionar sobre la mercancía el cambio brusco de temperaturas.

CONSUMO DE COMBUSTIBLE

En estos tipos de hornos el consumo energético es comparativamente grande y varía con la temperatura de cocción y la cantidad de aislante usado en el horno.

A continuación se dan una serie de datos en los combustibles usados para estos hornos:

Tipo de Horno	Capacidad equivalente para ladrillos de 9 - pulgadas	Combustible	Temperatura máxima °C	Tiempo de cocido (Hv)	Combustible para 1000 ladrillos
Circular - de corriente descendente.	65,000	Carbón	1270	142	2200 lb.
	32,000	Carbón	1290	150	1450 lb.
	60,000	Carbón	1320	156	1200 lb.
	48,000	Carbón	1170	132	1500 lb.
			1170		3000 lb.
			1150		2100 lb.
			1250		2500 lb.
		1316		2400 lb.	
Rectángu-- lar de co-- rriente -- descendente.	42,000		1280	163	1770 lb.
	60,000		1270	168	1880 lb.
Circular - de corrient e descendente.	76,000	Petróleo	1270	110	125 gal.
			1400	110	115 gal.
Rectángu-- lar de co-- rriente -- descendente , aislado.	10,000		1650	115	400 gal.
	5,000		1650	100	500 gal.
Circular - de corrient e descendente	50,000	gas natural	1250	216	18,000 ft ³

El calor perdido en los hornos periodicos es en los gases de la chimenea, a continuación se muestra una tabla del porcentaje de calor perdido para un horno periódico que coce arcilla, el combustible usado es carbón.

BALANCE DE CALOR	%
Calor para elevar a temperatura de los ladrillos, o eficiencia	15 - 45
Calor para eliminar la humedad.	0 - 3
Calor en la combustión de soda.	4 - 10
Calor en la combustión de gases, en la chimenea.	0 - 5
Calor en la chimenea de gases secos.	20 - 45
Calor de vapor de agua en gases.	4 - 7
Calor para elevar la temperatura de las paredes del horno.	4 - 15
Calor para elevar la temperatura de la corona del horno.	1 - 4
Calor perdido por paredes y corona.	3 - 9
Calor perdido por el fondo y chimenea.	4 - 12

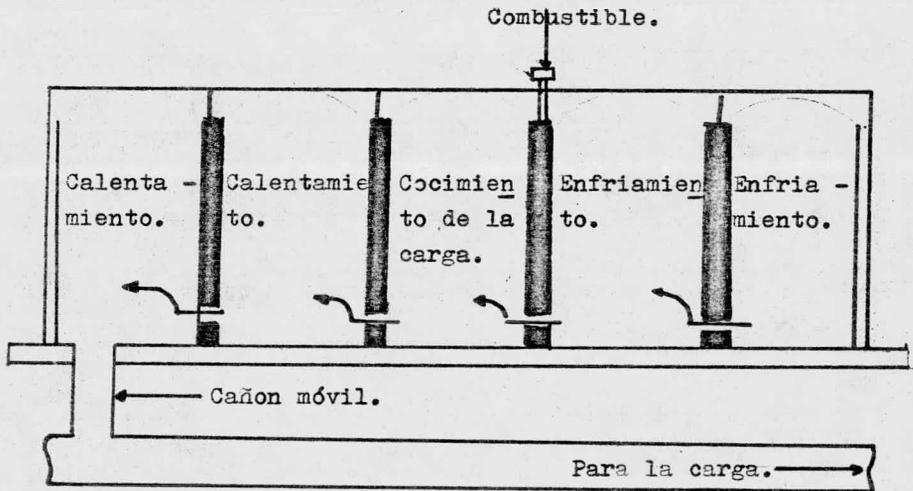
METODO DE CARGA

El método de carga para ladrillos en el horno periódico depende de la forma, tipo de refractario y la práctica particular de la planta. El cargamento es usualmente un patrón establecido, con aproximadamente un intervalo de 2 1/2 in de separación entre los ladrillos, haciendo un banco extendido a través del horno. Para ladrillos rectos, este media tres grupos a través de otras tres. Para impedir que los ladrillos se peguen uno con otro, arena de sílica es espolvoreada en la tapa del banco antes que tomen lugar las siguientes piezas. Ladrillos tales como magnesita y Cr. no pueden soportarse asimismo en un alto agrupamiento y por lo tanto están comunmente encajonados con ladrillos de sílica, los cuales llevan la carga.

HORNOS DE COMPARTIMENTO CONTINUO

El horno de compartimento es diseñado para proveer operaciones -

mas economicas que las que pueden ser dadas por el horno periódico. Un gran número de métodos son usados, pero el principio general es el mismo en todos los casos. En la figura se muestra una porción de un horno de compartimientos. Cada cámara es similar a un horno periódico de tiro descendente, pero en vez de que los gases pasen fuera de la pila, ellos pasan de una cámara a otra por la bolsa de la pared siguiente, tanto como el calor de los gases de combustión que es usado para precalentar los ladrillos de las cámaras adjuntas de la cámara de cocción. De la misma forma, el calor de enfriamiento de los ladrillos es usado para precalentar el aire de combustión. En algunos casos este aire de combustión es manejado fuera por sopladores, en otros casos, el combustible y pasan en las parrillas o quemadores en otros casos el combustible usualmente en forma de carbón fino, es introducido en puertas directamente en las cámaras bajo cocción.



Este tipo de hornos en lugares donde la economía de combustible es más importante, ha tenido gran aplicación.

El principal problema con los viejos tipos de hornos de cámara -- fué la velocidad lenta de el viaje del fuego el cual recorría -- por solo 6 in/hr. Esto fué verdaderamente importante para considerar la resistencia para el flujo de gases en los pasajes largos. En los más modernos hornos de cámara, sopladores y extractores han sido usados para incrementar la velocidad del gas, lo -- cual da una velocidad del fuego de 3 a 5 ft/hr, lo cual es un aumento inmenso en la capacidad del horno dado.

En un buen diseño de un horno de cámara, practicamente el calor--pérdido es solo por transferencia en las paredes y la corona, ca si todo el calor es abstraído para el enfriamiento de ladrillos-- y para los gases de combustión. A menudo esto es dificultoso, -- llevar figuras estrictamente comparables, se puede decir que el consumo de combustible anda entre un medio y un tercio de el consumo de los hornos periódicos como se muestra en la tabla siguiente para la fabricación de refractarios:

CONSUMO DE COMBUSTIBLE DE HORNOS DE CAMARA

MERCANCIA	COMBUSTIBLE	TEMPERATURA °C	CONSUMO DE COMBUSTIBLE PARA MIL LADRILLOS
Arcilla cocida	Carbón	1340	750 lb.
	Carbón	1273	1,000 lb.
	Carbón	1410	1,100 lb.
	Gas productor	1420	1,500 lb. (carbón)
Silice	Carbón	1450	900 lb.
Magnesita	Carbón	1470	1,500 lb.
	Carbón	1650	3,500 lb.
	Carbón café	1500	4,000 lb.

Los costos de instalación son más altos que el de los hornos -- periódicos de la misma capacidad y generalmente el cocimiento - en un horno de cámara requiere más habilidad en su operación.

Respecto a su mantenimiento diferentes opiniones existen al res- pecto ya que hay quienes lo consideran más alto que los hornos- periódicos y otros operadores dicen lo contrario.

La capacidad de estos hornos depende del tipo de mercancía que- se trabaje, la velocidad y bondad del trayecto del fuego usado- en la cocción. Existen hornos con un rendimiento de hasta ---- 100,000 piezas por día.

HORNOS TUNEL

Hay una gran extensión en el uso de estos hornos en la indus- tria cerámica en general ya que tanto para ladrillos como para- refractarios pueden ser ocupados y se ha notado un gran incre- mento en la producción de las fábricas que han adquirido este - equipo.

A través del tiempo se ha mejorado el diseño de estos hornos y - se han obtenido ventajas en su operación de tal forma que son - mejores los ladrillos que los producidos en los hornos periódicos y con un costo menor. Sin embargo esto no quiere decir que- los hornos periódicos dejen de ser utilizados ya que son reque- ridos en casos especiales donde las áreas de las piezas son ma- yores que los de los ladrillos estándar o más comunes.

La mayor economía que representa el uso de estos hornos túnel - está en la recuperación del calor que poseen los gases de com- bustión en las diferentes zonas del horno.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL HORNO TUNEL

Las ventajas del horno tunel son las siguientes:

- 1.- El horno túnel presta un buen servicio en el proceso de producción continua, en el cual minimiza la mano de obra.
- 2.- La disposición y fraguado del horno son simples y regulares: y con ladrillos prensados secos, el fraguado puede hacerse directamente del prensado eliminando los estantes, - carros secadores, etc.
- 3.- La estructura del horno misma, con excepción de los carros esta siempre a una temperatura uniforme, con un diseño apropiado, la diferencia de temperatura entre el refractario y el horno es muy pequeña.
- 4.- Es posible con un diseño adecuado, calentar y enfriar el material de acuerdo a un programa deseado, lo cual facilitaría la cocción del ladrillo adecuadamente, en tiempos pequeños.
- 5.- Debido a la relativa pequeña sección de la carga, el calor es adecuado para la penetración al centro rápidamente; permitiendo mucho más rápido el quemado que el que es posible en la carga a granel del horno intermitente. Este rápido quemado es una ventaja cuando hay pedidos especiales que tienen cierta urgencia.
- 6.- Es horno túnel, cuando es propiamente operado, muestra una marcada economía de combustible en comparación con el horno periódico.

Hay un número de desventajas en el horno túnel, pero muchas de ellas han sido gradualmente eliminadas con la experiencia que se ha obtenido con este método de combustión.

- 1.- La construcción de un horno túnel, necesita de una gran inversión de capital, como esto es imposible de acuerdo al incremento de la capacidad gradualmente. Tal como podría hacerse con un número de hornos periódicos.
- 2.- Un paro en un horno túnel es serio, el cual podría durar entre 2 y 4 semanas. Con una operación apropiada, un paro-

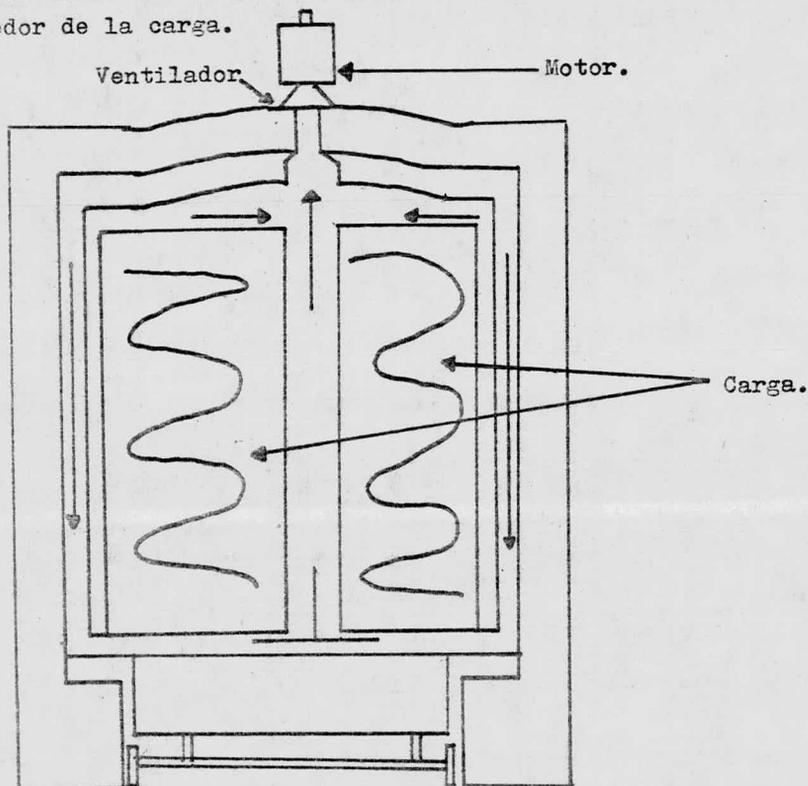
es muy raro, pero estos ocurren ocasionalmente.

- 3.- La conservación de las tapas de los carros es muy alto, -- porque de ese lado hay periódicamente calentamiento y en -- friamiento, durante cada pasada en el horno. Estudios con -- siderables han sido hechos y se ve probable que sea reduci -- do grandemente con un cuidadoso diseño.
- 4.- Algunas dificultades se han experimentado en mantener una -- temperatura uniforme en la sección de el horno túnel. La -- tapa y los lados del horno están a menudo más calientes -- que el fondo. Esto puede ser corregido no obstante para al -- gunos hornos túnel ahora dan una muy uniforme distribución de temperaturas.
- 5.- El horno túnel requiere una considerable longitud de piso -- y algunas plantas por su situación no es fácilmente acepta -- ble.
- 6.- Otra objeción del horno túnel es que para la operación efi -- ciente, puede correrse con una carga uniforme esto es con -- ladrillos rectos o formas de 9 pulgadas. Lo cual es por su -- puesto posible de variar la cédula de quemado a acomodar -- largas áreas de diferentes tipos de ladrillos, pero esos -- cambios tienen malos efectos en la estructura del horno, y en algunas ocasiones hay pérdidas al llevar la corrida del horno uniformemente después de que se ha hecho un cambio.--
- 7.- El horno túnel no puede correr eficientemente en una baja -- capacidad y es más escaso de flexibilidad que el horno pe -- riodico.

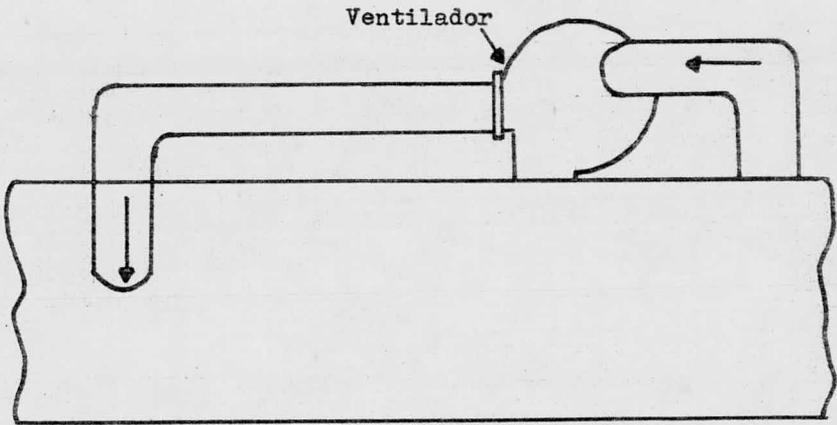
De acuerdo a los materiales a cocer, los hornos túnel pueden -- ser del tipo de fuego directo o mufla. Si los materiales que van a ser cocidos requieren de protección contra la atmósfera del -- horno es necesario usar el tipo mufla. Esta protección nos va a incrementar los costos iniciales y también los costos de combus -- tible.

El aprovechamiento de los gases de combustión depende de los --

buenos sistemas de recirculación, hay ventiladores que mueven perfectamente gases a temperaturas mayores de 1100°C con estos equipos los gases pueden ser recirculados a cualquier parte de la zona de precalentamiento, en la figura se presenta una sección del horno con recirculación para equilibrar la temperatura alrededor de la carga.

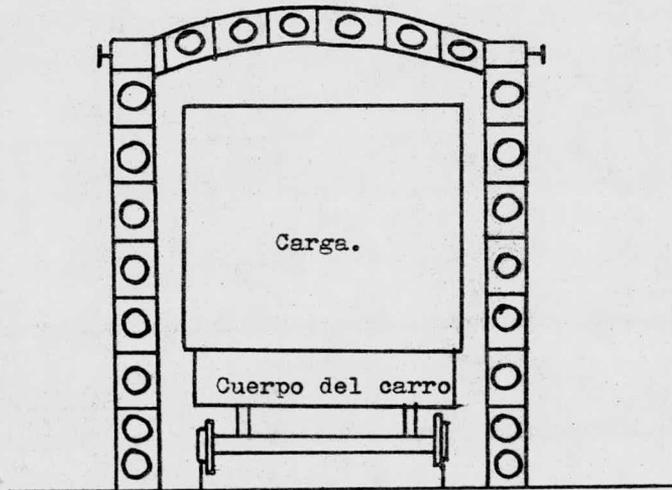


Otro método es sacar el gas de la parte más fría de la zona de precalentamiento y reinsertarlo en una porción más caliente como lo representa la figura, esta posibilidad aumenta la velocidad de flujo en la carga y consecuentemente también aumentará la velocidad de transferencia de calor de los gases a la carga.



Vista lateral de un horno túnel.

La siguiente figura muestra un sistema de enfriamiento indirecto.



La curva de calentamiento es regulada de acuerdo a la alimentación de gases en diferentes puntos en la zona de precalentamiento y no extrayendolos en un solo punto a la entrada del horno.

Si la longitud de la zona de precalentamiento es mayor, esto hará que los gases de salida sean más fríos y por lo tanto habrá una mayor eficiencia en el trabajo del horno, no obstante esto es limitado por otros factores de construcción. La temperatura de los gases de salida se cuenta por lo general entre 100 y 400°C.

La misma situación podría ser aplicada para la carga que sale del horno (de la zona de cocido), empleando una longitud suficiente para llevar la carga a una temperatura deseada, los productos por lo general salen en un rango de 50 y 150°C.

La colocación de la carga a su vez se puede tomar un parámetro de proporción por una velocidad de gas alta mantenida a lo largo de la zona de precalentamiento. La velocidad de los gases en esa zona varía entre 500 y 2000 pies por minuto y la corriente de aire en la entrada debe ser suficiente para abastecer esa cantidad de aire.

Existen diversos métodos para estibar la mercancía en el horno, siempre estos están canalizados a proveer canales de gas longitudinales a la carga. Los flancos de la carga se calientan antes que el centro por lo cual se hace un canal de gas bajo la parte central de la carga, lo mismo para los espacios en la tapa y los lados para tener un mínimo de desigualdad. El ancho de la carga varía entre 4 y 7 pies y la altura entre 4 y 6 pies.

Para mejorar el flujo de los gases alrededor de la carga se han utilizado arcos o canales en las esquinas de las paredes y techos, con ellos los hornos de estas longitudes ganan la hermeticidad.

La producción de hornos túnel en caso de refractaria varía entre 20,000 y 35,000 piezas por día, para porcelana pueden cocer entre 2.5 y 2.8 toneladas por día.

Un buen diseño de el horno túnel es el que nos representa solo un medio o un tercio de consumo en el combustible al que nos re presenta, un horno periódico para una producción de 1,000 ladrillos. A continuación mencionamos algunos datos para el consumo de combustible de hornos túnel en la manufactura de algunos refractarios:

TIPO DE REFRACTARIO COCIDO	COMBUSTIBLE USADO	TEMPERATURA MAXIMA °C	COMBUSTIBLE PARA 1000 LADRILLOS
Arcilla cocida	Carbón	1270	700 lb.
Arcilla cocida	Carbón	1335	900 lb.
Arcilla cocida	Carbón	1470	1250 lb.
Arcilla cocida	Petróleo	1400	80 gal.
Arcilla cocida	Petróleo	1670	150 gal.
Arcilla cocida	Gas producido	1150	850 lb. (carbón)
		1250	970 lb. (carbón)
		1420	1150 lb. (carbón)
		1400	63 lb. (carbón)
Arcilla cocida	Gas natural	1140	6000 Ft ³
		1100	7,000 ft ³

También es necesario conocer el consumo calorífico en el cocimiento de materias primas y algunas pastas cerámicas, ya que en base de ellas partiremos para la elección del horno. La siguiente tabla da algunos valores (Kcal/Ka) para un incremento de temperaturas desde 20°C a T°C.

CONSUMO CALORICO (KCAL/KG) EN LA COCHURA DE MATERIAS PRIMAS Y MASAS CERA
MICAS (1) DESDE 20° A T° C.

t° =	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400
Caolín Zettlitzer	16,1	37,7	59,6	85,7	119,4	240,5	292,5	332,6	385,9	420,0	454,8	488,8	524,6	560,3
Cuarzo noruego	15,2	37,1	60,9	86,5	114,9	148,3	174,7	202,7	231,3	262,0	292 ⁽⁵⁾	322 ⁽⁵⁾	355 ⁽⁵⁾	390 ⁽⁵⁾
Feldespató noruego	12,9	29,1	47,1	67,8	91,7	116,7	143,4	172,1	201,9	240,5	281,2	309,7	345 ⁽⁵⁾	380 ⁽⁵⁾
Pasta de porcelana cruda (2)	14,8	33,6	55,2	80,9	109,9	192,8	220,1	248,4	285,6	330,8	379,5	428,4	477,5	527,7
Pasta de loza cruda (3).	14,5	33,0	53,8	76,1	103,3	168,5	196,0	218,4	247,0	283,8	335,4	387,6	440,7	
Arcilla de Halle, cruda (4).	15,1	35,2	59,0	84,9	118,2	202,7	234,3	258,3	284,1	337,5	387,4	436,4		

(1) Según W. Cohn

(5) Valores de extrapolación

	<u>Substancia arcillosa</u>		<u>Cuarzo</u>		<u>Feldespató</u>
(2)	50 %		22,5 %		22,5 %
(3)	50 "		45 "		5 "
(4)	65 "		34 "		1 "

En la siguiente tabla se manifiestan algunos datos tomados de varias fuentes.

Productos	Sistema de horno	Temperatura de cochura - Grados C.	Consumo de Combustible	
			Por 100 kg de productos.	Por m ³ de capacidad de horno.
Ladrillos	Horno Anular	950°	Grava de coque 3,5-5 kilos. Turba 10-12 kg	30-40 kg 80-100 kg
Arcilla chamota	Horno de túnel	1280° - 1300°	Carbón de piedra 8,7 kg.	
Fayenza (+ cápsulas)	Horno Circular	1250°	Carbón de Piedra unos 125 kg.	
Artículos de gres (cápsulas + productos, en total unas 2 toneladas)	Horno de cámara 3,5 m ³	1350°		850 kg
Porcelana (bar-nizado previo + cochura blanca)	Horno de túnel	1380°	Gas 250 m ³ a 440 calorías.	
Porcelana (bar-nizado previo + cochura blanca)	Hornos de pisos 95 m ³	1380°	Carbón 442-kilos a 6500 calorías	

También se dan unos datos para el consumo de combustible en productos de alfarería cocidos a 960°C. Protegidos con muflas.

Horno de mu- fla para	Capacidad - en litros	Duración de- la cochura - en horas	Cantidad to- tal de com- bustible.	Valor del ← combustible- en calorías.	Valor total - de calorías	Kilocalorías por 1 capaci- dad de horno
Gas	225	6	175 m ³	4000	700.000	3100
Carbón	270	10	170 kg	6000	1.020.000	3800
Madera	270	10	225 kg	3400	770.000	2850
Electricidad	280	7	95 kWh	860	82.000	290
Id.	500	8	180 kWh	860	155.000	310
Id.	750	13	240 kWh	860	206.000	275
Carbón + Madera	2000	Carbón 6-8, luego madera.	150 kg 900 kg	6000 3400	3.960.000	1980

C O N C L U S I O N E S

- 1.- Como se manifestó anteriormente el problema de selección de un horno debe ser resuelto en terminos de la mejor -- elección tanto del tipo del horno como fuente de energía calorífica más adecuada, ya que es sabido que el mejor - diseño de un equipo de este tipo es en el que existe una adaptación tal entre el horno y el material que se va a-- cocer que el calor generado es utilizado de una forma -- eficiente. Para ello en el presente trabajo se propone - hacer una selección comparativa de los distintos equipos existentes y más ocupados en la industria cerámica, por- lo general no es muy agradable hacer comparaciones pero-- deben ser efectuadas para obtener los mejores resultados.
- 2.- Las personas responsables de la selección deben emplear- los conocimientos del diseño de hornos es decir tener -- presente conceptos de transferencia de calor, de flujo - de fluidos, propiedades de la arcilla, materiales refrac- tarios, etc. De acuerdo al tipo de horno elegido se re-- querirá o no de especialistas en construcción ya que en- caso de hornos pequeños pueden ser construidos y expedi- dos el sitio de la planta pero en caso de diseños mayo-- res requieren ser erigidos en los lugares de trabajo.
- 3.- No se debe olvidar que la selección debe ser enfocada pa- ra la obtención de la mejor calidad del producto termina- do a su más bajo costo. Dicho costo puede ser abatido -- con un aprovechamiento máximo de la energía utilizada du

rante el proceso.

El punto anterior es muy importante ya que nos hace tomar conciencia del problema inmediato de la humanidad, la escasez de energéticos. Aún cuando en nuestro país se presenta una situación cómoda en ese aspecto es necesario tomar actuación sobre dicho problema ya que de cualquier forma podremos ser beneficiados. El ahorro en el consumo de energéticos puede significar una entrada extra de divisas para el país al ser exportado ese petróleo. Por otra parte aún cuando las reservas pueden ser satisfactorias por muchos años, aún no se poseen tecnologías para obtener energía por otros medios y la importación de ellas significaría un endeudamiento muy grande para nuestra patria.

4.- Durante la operación de los hornos debe tenerse cuidado en la dosificación y manejo de energéticos para procurar obtener los mejores resultados de combustión al mismo tiempo de ver que los productos obtenidos de ella sean aprovechados en otros equipos como secadores, zonas de precalentamiento en fin, a la vez que de dicha manera podremos evitar problemas de contaminación ambiental, ya que es deber de todos velar por un bienestar social y aquí tenemos una gran oportunidad de llevarlo a cabo.

5.- Por otro lado aún cuando no se describió aquí la situa---

ción de la industria cerámica en México, creo que todos -
es sabido la pauperrima situación en que se encuentra y -
las precarias circunstancias de los trabajadores de ladri-
lleras, ya que salvo algunas excepciones se puede hablar-
con un concepto de fábrica por lo cual se sugiere promo-
ver políticas en beneficio de estas pequeñas industrias.

Por lo que respecta a las industrias mayores sería conve-
niente una diversificación en sus productos ya que exis-
ten una serie de mercados que podrían ser explotados como
tejas, baldosas, tubos, materiales para construcción, etc.

B I B L I O G R A F I A

- 1.- TECNICA DE LA CERAMICA.- Peder Hald 2a. Ed, Ediciones Omega.
Barcelona, España.
- 2.- HORNOS INDUSTRIALES.- Willibald Trinks y M. H. Mawhinney, Vols. I y II
Editorial URMO,
Bilbao, España.
- 3.- REFRACTARIOS.- Frederick H. Norton. Addison-Wesley
Publishing Company.
- 4.- PROCESOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR.- Donald Q. Kern
8a. Impresión
C.E.C.S.A.
- 5.- CHEMICAL ENGINEERING HANDBOOK.- Jhon H. Perry, 3a.
Ed. Editorial Mac-
Graw Hill.
- 6.- PRINCIPLES OF CHEMICAL ENGINEERING.- Walker, Lewis -
Mac Adams and -
Gilliland, 3a.-
Ed. Mac. Graw -
Hill.



Este Trabajo fue Elaborado en

**SISTEMAS
DE
REPRODUCCION**

Luis González Obregón 13-B

Teléfono: 521-26-07

México 1, D. F.

(Centro)