



163

Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE QUIMICA

"ANTEPROYECTO DE UNA PLANTA DE FILTROS CERAMICOS"

T E S I S

Que para obtener el título de:

INGENIERO QUIMICO

P r e s e n t a :

SERGIO A. BRONDO MEDINA

y

GUTIERREZ INIESTRA, Jorge

222 1976



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

CLASE Testi
AÑO 1976
FECHA 11 60



11 60

A mis Padres

A mis Hermanos .

Agradezco a los maestros, IQ Guillermo Carsolio P., IQ Rudi P. Stivalet C. y en especial a la Mtra. Cristina P. de Keller, por su valiosa cooperación en el presente trabajo.

También agradezco la ayuda prestada a los ingenieros Julio Langrave y Francisco Mantey del Instituto Mexicano del Petróleo.

A mis maestros.

A mis compañeros.

A mis amigos.

I N D I C E .

CAPITULO	PAG
I. INTRODUCCION	6
II. ANALISIS DE MERCADO	8
III. GENERALIDADES	10
IV. DESCRIPCION DEL PROCESO	15
V. DISEÑO DEL HORNO TUNEL	27
VI. DISEÑO DEL SECADOR TUNEL	52
VII. ESTUDIO ECONOMICO	58
VIII CONCLUSIONES	67
BIBLIOGRAFIA	68

CAPITULO I

INTRODUCCION

El presente trabajo se realiza con el fin de poder analizar que tan factible es la instalación de una planta productora de filtros, ya que el aumento de la contaminación del agua - utilizada en el abastecimiento de las ciudades, requieren un control y una purificación para que puedan ser utilizadas como agua potable.

Estos filtros pueden ser de varios tipos, pero los de mayor uso doméstico actualmente son los elaborados a base de una - Bujía Cerámica, debido a que tienen una mayor eficiencia por el tamaño de poro, soportan cambios bruscos de temperatura y no son atacados por ácidos o álcalis diluídos.

Su mantenimiento solo requiere de un lavado con cepillo y su duración es aproximadamente de un año, con lo cual ofrece -- ventajas sobre otros tipos que son desechables y de corta du ración.

En la actualidad existe en el país una fábrica que hace este tipo de Bujías (TYTSA), pero no ha podido cumplir con las ne cesidades del mercado nacional, por su baja productividad y poca confianza en sus productos.

En el cuerpo del trabajo se tratarán varios temas que harán posible un análisis somero de lo relacionado con la elaboración de Bujías Cerámicas utilizadas para Filtros de agua de uso doméstico.

En el primer capítulo se mencionan los aspectos generales y los objetivos del anteproyecto. En el segundo se hace un análisis de mercado el cual determinará la capacidad de instalación de la planta.

En el capítulo referente a generalidades se describen diferentes tipos de filtros y su elaboración, se selecciona uno de ellos para este anteproyecto.

A continuación se hace una descripción del proceso para la fabricación a escala industrial de la Bujía Cerámica; de la disponibilidad de materia prima; de la selección del lugar de instalación de la planta; del equipo requerido y sus características para este proceso.

Posteriormente se realizan los cálculos necesarios para el diseño del Horno y Secador (túnel-continuos) que forman una de las partes importantes de la planta. Se realizan estos diseños por ser estos equipos afectados por las condiciones de capacidad y especificaciones propias del producto.

Luego se lleva a cabo un estudio económico, para ver la cuantía de inversión necesaria para realizar este anteproyecto y también para obtener datos de que tan conveniente es esta inversión, esto se observa en la tabla de resultados, donde se enumeran diferentes capacidades y su rentabilidad.

En el último capítulo se hacen las conclusiones a las cuales se llegan después de analizar todos los puntos antes mencionados en el cuerpo de este anteproyecto.

CAPITULO II

ANALISIS DE MERCADO

Para poder determinar la capacidad de la Planta se tomaron - datos de importación en el Instituto Mexicano de Comercio Exterior de los últimos 10 años, los cuales se presentaron así:

AÑO	Kg B	\$
1965	22,183	1'195,286
1966	26,322	1'320,982
1967	12,888	703,909
1968	20,383	1'092,585
1969	28,129	1'587,451
1970	28,641	1'796,408
1971	28,210	2'713,694
1972	49,758	4'069,539
1973	55,084	5'607,958
1974	49,861	4'957,532

Para el diseño de la planta se tomará como base la importación esperada para el año de 1987, ya que la cantidad de producción es pequeña con relación al equipo existente en el mercado, esto se obtiene por medio de la proyección de los datos anteriores :

AÑO	Kg B
1975	56,110
1976	60,284
1977	64,468
1978	68,642
1979	72,484
1980	76,992

AÑO	Kg B
1981	81,168
1982	85,334
1983	89,504
1984	93,676
1985	97,805
1986	102,252
1987	106,420

Para el año de 1987 se espera una importación de 106,420 KgB por lo cual la base de diseño de la planta tendrá que ser un 20% superior a esa cifra, para cubrir cualquier contingencia que se pudiera presentar, por lo cual se diseñará una Fábrica de Bujías Cerámicas con capacidad de 130 Ton / Año .

CAPITULO III

GENERALIDADES

Las características de las Bujías Cerámicas utilizadas para la filtración y purificación de agua en las ciudades son :

Altura de la Bujía	;	23	cm
Diámetro Exterior	:	5	cm
Diámetro Interior	:	3	cm
Tamaño de Poro	:	3	micras

Dentro del estudio realizado para este anteproyecto se seleccionaron datos de Filtros Cerámicos Alemanes, que son los -- mejor cumplen las condiciones de las Bujías Cerámicas. Estos Filtros son los siguientes :

Los filtros de masa porosa pueden ser clasificados dentro de 5 Tipos y cada uno de ellos puede ser dividido en 6 grados - con respecto a su porosidad. Estos 5 tipos son :

1. Tipo Braungelb
2. Tipo Aerolith
3. Tipo Silexith
4. Tipo Brandol
5. Tipo Carbo

Asimismo un Diafragma especial de material electrolítico conocido como Diapor y que es producido en un solo grado.

El grado de algún tipo de filtro es controlado por el tamaño de partícula de la base del material usado en la fabricación de la pieza porosa. Durante el proceso de fabricación del filtro previo al cocido del mismo, la carga del material es cernida en la batería de 6 tamices de un decremento continuo -

del tamaño de partícula. Los tamices y la fracción producida por ellos son :

TAMIZ #	MALLA (ASTM)	PRODUCTO	TAMANO PART.
1	400	Ultra	0.04 mm
2	200	FF	0.07 mm
3	140	F	1.00 mm
4	70	M	2.00 mm
5	50	G	3.00 mm
6	40	GG	4.00 mm

TIPO BRAUNGELB :

Este tipo de filtro es hecho en base de un material de chamota. La chamota es elaborada de piezas de arcilla quemada (refractarios de menos de 1400°C) por presión en tablas y quemadas entre 1000° y 1150°C, molida y cernida en los seis grados designados. El grado de chamota es mezclado mecánicamente -- con agua y silicato de sodio, prensado a 25 atm, se moldea, se seca y se queman a 1150°C, dando el tipo de filtro deseado.

Las propiedades de los diferentes grados de filtro Braungelb son las siguientes :

GRADO BRAUNGELB	TAMANO PORO (μ)	%ABS AGUA	RESIST. atm
Ultra	4 - 6	47	125
FF	10 - 15	↑ ↓	90
F	25 - 35		65
M	60 - 90		55
G	90 - 100		50
GG	100 - 150		37

Este tipo de filtros es resistente a ácidos y es particularmente aconsejable para uso a temperaturas elevadas. Estas aplicaciones son grandemente confinadas a la industria química pesada. Algunos de sus usos incluyen platos de filtro para succión, cilindros o tubos para la filtración de ácidos o líquidos neutros.

TIPO AEROLITH :

La base del material de Filtro Aerolith es una mezcla de cuarzo y desperdicio de vidrio, siendo necesario un subproducto de este material, el cual se mezcla con agua y se quema a 980°C, después se pulveriza y de esta forma pasa a la carga principal para la elaboración del filtro deseado.

A esa carga principal se le adicionan dos litros de licor de sulfito y más vidrio, este material es prensado a 5 atm., se seca y se quema a 980°C. Las propiedades de este tipo de filtro son las siguientes :

GRADO AEROLITH	TAMAÑO PORO (μ)	%ABS AGUA	RESIST. atm
Ultra D ⁺	2 - 3	35	300
Ultra	6 - 12	40	230
FF	18 - 30	50	175
F	55 - 80	↑ ↓	90
M	90 - 110		70
G	120 - 140		45
GG	130 - 160		47

+ se prensa a 10 atm

Este tipo de filtros es resistente a ácidos y es usado en la industria química fina. Algunos de sus usos incluyen filtración de gases, filtros de succión, difusión de gases en líquidos. Se pueden usar a temperatura normal o elevada.

TIPO SILEXITH :

Este tipo de filtro está formado por una mezcla de vidrio con cuarzo y licor de sulfito, la cual se prensa a 5 atm y quemada a 980°C. Sus propiedades son las siguientes :

GRADO SILEXITH	TAMÑO PORO (μ)	% ABS AGUA
Ultra	8 - 10	50
FF	12 - 15	↑ ↓
F	20 - 40	
M	45 - 80	
G	90 - 110	
GG	130 - 160	

Este tipo de filtro solo es recomendable donde hay dificultades de filtrado y se requiere un cambio frecuente de filtros.

TIPO BRANDOL :

Este producto esta compuesto de cuarzo ligado con baquelita. Los ingredientes son mezclados, prensados y después calcinados a 140°C para obtener el ligamento.

Estos filtros se caracterizan por una buena resistencia mecánica y algo menor de porosidad que los otros filtros. Esto es particularmente útil para propósitos de manejo de gases. Sus propiedades son :

GRADO BRANDOL	TAMAÑO PORO (μ)	% ABS AGUA	RESIST. atm
Ultra	10 - 15	38	120
FF	20 - 30	↑ ↓	115
F	30 - 45		110
M	60 - 75		100
G	80 - 100		95
GG	120 - 150		31

TIPO CARBO :

Este filtro es hecho de una mezcla de tiro de coke y brea, - la cual es prensada y quemada a 1000°C en una atmósfera reductiva, esto es útil para filtraciones de soluciones alcalinas igual que para altas temperaturas si están ausentes los agentes oxidantes. Sus propiedades son :

GRADO CARBO	TAMAÑO PORO (M)	%ABS AGUA	RESIST. atm
Ultra	10 - 20	35	30
FF	30 - 60	↓	40
F	50 - 80	42	30
M	70 - 110	↑	35
G	90 - 130	↓	25
GG	120 - 180	38	25

Algunas de sus aplicaciones incluyen filtros de platos para succión y cilindros o tubos largos para filtros a presión de soluciones alcalinas.

TIPO DIAPOR :

Este tipo de filtro está compuesto de un 85% de chamota sin fierro y 15% de arcilla cruda. Esta mezcla es prensada en su forma y quemada a 1150°C. Este filtro es hecho de un solo -- grado, el cual tiene un poro promedio de una micra de ancho. El número de poros es aproximadamente de 2.3×10^9 por cm^2 y la absorción de agua es de 45% más o menos. Puede ser producido en la forma de cilindros, platos o cajas y es usado sobre todo en forma de diafragma en procesos electrolíticos.

De los cinco tipos de filtros estudiados el que mejores condiciones ofrece para poder dar las características de las Bu jías Cerámicas, es el Tipo Aerolith en su grado Ultra D⁺ .

CAPITULO IV

DESCRIPCION DEL PROCESO

Para la elaboración de filtros del tipo Aerolith grado Ultra D⁺ tenemos el siguiente diagrama de bloques :

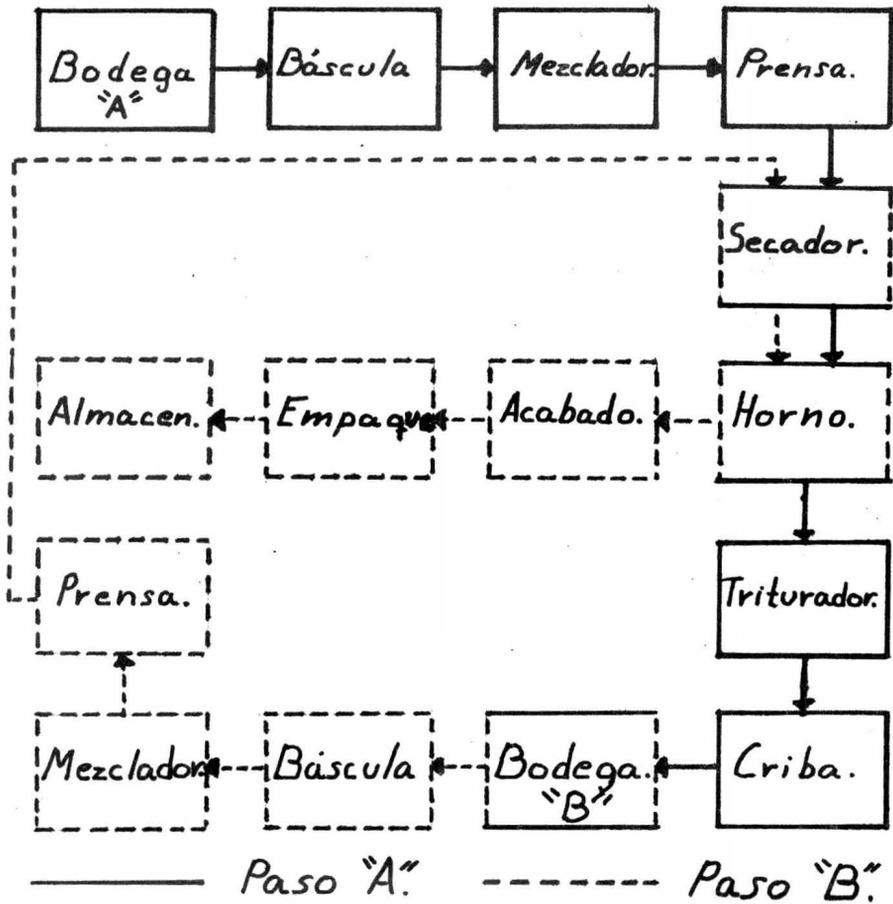


Fig. N. 1

Paso A :

De la Bodega A se pesan 40 kg de cuarzo y 20 kg de vidrio molido, a los cuales se les agrega agua para dar una humedad - del 12% y poder mezclarse en el mezclador A , una vez homogénea la mezcla, se moldea a presión siendo ésta de diez atmósferas, donde pierde un 2% de humedad, estas piezas pasan a - un secador donde se reduce su humedad, pasando después a un horno donde se queman a una temperatura de 980°C , este producto es pulverizado y después se pasa a través de un tamiz donde se obtiene la fracción de partícula deseada. Dicho tamiz debe ser malla 400 de la especificación ASTM, las partículas que no pasan se retornan al pulverizador. Obtenida la fracción del producto se almacena en la bodega B.

Paso B :

De la Bodega B se pesan 60 kg del producto A a los cuales se les añaden 10 kg de vidrio molido y dos litros de licor de - sulfito, los cuales se mezclan en el mezclador B. Esta mezcla se moldea por prensado a 10 atmósferas, reduciendo su humedad para pasar a un secador y después al horno donde se queman a 980°C. Terminado su cocido se enfrían y pasan a la sección de acabado, donde se pulen y se obtienen las piezas terminadas que se empacan y se llevan al almacén.

MATERIAS PRIMAS :

Las materias primas requeridas para la fabricación de estas bujías son : cuarzo molido, desperdicio de vidrio y licor de sulfito.

El cuarzo molido (malla 400 ASTM) se puede obtener en la ciudad de México, ya que los proveedores de cuarzo tienen oficinas en la ciudad, solo que al precio debe *cargársele el flete*

puesto que el producto se obtiene en las minas de San Felipe, Gto.

El desperdicio de vidrio se compra en las fábricas de vidrio de la ciudad o en los basureros, donde se transporta a la -- planta y se muelen en el equipo de la misma.

El licor de sulfito se consigue en las distribuidoras de pro ductos químicos, que también se localizan en la ciudad.

LOCALIZACION DE LA PLANTA :

Debido a que las materias primas pueden obtenerse en la ciudad de México, que es donde se consume principalmente el pro ducto terminado, y se tienen todos los servicios necesarios como son la luz, el agua, drenaje, gas, comunicaciones, etc., es aconsejable instalar la planta dentro de las zonas industriales del Valle de México.

SELECCION DEL EQUIPO :

Molienda :

Esta operación unitaria se lleva a cabo en el proceso para - la obtención de vidrio molido y del producto pulverizado del paso A, para su posterior uso en la elaboración final de la bujía. Por lo que es necesario que de el tamaño de partícula requerido para obtener el poro deseado.

Como se obtienen del paso A productos de dureza media ya que han sido quemados deben ser triturados para que después pasen a una molienda fina.

En general trituración se refiere a la reducción de trozos -

grandes a un tamaño conveniente para una reducción secundaria. Se emplea generalmente el término pulverización si el producto es un polvo fino.

Los principios básicos de los procesos necesarios de reducción son los tres siguientes:

1. Un golpe de Martillo.
2. La trituración por aspersion.
3. Acción de desgarramiento.

Trituradores Primarios :

1. Trituradores de mandíbulas de articulación doble y simple. Estas trituradoras pueden reducir cualquier tipo de roca dura con la condición de que estos no se aglomeren o peguen.

2. Los trituradores giratorios de tipo de eje largo y corto y el triturador de cono se emplean para materiales duros tales como sílice, pedernal y arcilla refractaria dura.

3. Los molinos de martillos o pulverizadores de martillos han alcanzado una gran popularidad. Pueden tratar materiales duros o blandos, secos o húmedos y reducen eficientemente trozos - bastante grandes a polvos en una sola operación.

Molienda Secundaria :

Molienda en molino de bolas, de guijarros, de barra y de tubo. Una proporción cada vez mayor de la molienda fina de los materiales cerámicos se realiza en molinos rotatorios que contienen esferas o barras duras. Los molinos se hacen girar a gran velocidad tal que las bolas, barras, etc., asciendan por sus rodando y golpeándose unas contra otras hasta caer al fondo. Por consiguiente la molienda es efectiva por impacto y frotamiento.

Existen numerosos diseños de estos molinos con diferentes di mensiones relativas, tipos de revestimiento, clases de bolas y guijarros, se utilizan bien por cargas, cerrados o continu os, en circuitos cerrados o abiertos.

Tamices y Cribas :

Las principales partes de un tamiz o criba son las mallas y el bastidor y sus funciones principales son la selección del tamaño de partícula, clasificación de materiales y separa--- ción de impurezas.

Las mallas se construyen de diferentes materiales como acero inoxidable, bronce fosforoso, latón, acero dulce, aluminio, cobre, níquel, nylon, seda, etc. Tienen diferentes caracterís ticas en su fabricación; el diámetro del hilo, el método de tejido, el tamaño y la tolerancia de las aberturas para los tamices normalizados se establece en la British Standard Spe cification (en los Estados Unidos la norma es American So--- ciety for Testing Materials - ASTM).

Los tamices de grano grueso (4.76 a 101.6 mm) se fabrican en plancha perforada y se clasifican con la serie antigua del - Instituto de Minería y Metalurgia (I.M.M.). En esta serie el diámetro del hilo es igual a la abertura.

Los tamices más finos de la serie Tyler USA y American norma lizada están relacionados normalmente entre sí como 1.189:1 . Un tamiz se designa por el número de mallas en la serie in--- glesa que significa el número de aberturas por pulgada li--- neal.

El tipo de tejido es variable para materiales de suspensión o secos, pero para arcillas ligeramente húmedas se usa un ta

miz de cuerdas de piano que son construidos de alambre exclusivamente paralelos para que no se obstruya el paso.

Las mallas se montan sobre bastidores cilíndricos, rectangulares o circulares.

Los tamices y cribas más usados son los planos con vibración para que el material pase a través de él. Las cribas se ponen en batería de dos a cuatro y se inclinan para que las partículas de tamaño muy grande caigan hacia fuera.

Para su mantenimiento la criba debe ser cepillada a mano frecuentemente sobre todo cuando el material tiene cierta humedad arriba del 5%. Para evitar esta obstrucción se debe calentar la criba con una corriente eléctrica de baja tensión.

Mezclado :

En cerámica se usan las divisiones de mezclado húmedo, plástico y seco. El mezclado húmedo es la mezcla de una sustan--cia con agua que pueda fluir. Las mezclas que son demasiadas secas para moverse como polvos granulares, que son pegajosas y que forman fácilmente grumos son las mezclas plásticas. El mezclado seco son las mezclas que pueden moverse fácilmente y libremente, aún cuando tenga cierta humedad.

El mezclado húmedo se realiza en recipientes provistos de agitadores, en cilindros o tubos giratorios.

El mezclado seco se efectúa en cilindros rotatorios generalmente pero se puede emplear otro tipo de mezcladores y es -- más sencillo que el mezclado húmedo y plástico.

El mezclado plástico puede efectuarse en molinos de muelas -

verticales como los empleados para trituración o molienda. - También se puede efectuar en un recipiente cilíndrico con un sinfín rotatorio, tornillo, cuchillas, paletas, etc.

Cabe aclarar que la condición más característica de las arcillas es el estado plástico.

Prensado :

Ciertas pastas plásticas es posible prensarlas con una prensa mecánica e hidráulica empleando moldes de metal. Para cada operación debe medirse la cantidad exacta de pasta requerida. El desprendimiento de las piezas se hace ayudado de un calentamiento.

El prensado plástico es suficiente para la producción en gran escala. El proceso de émbolo consiste básicamente en el prensado de pastas plásticas entre moldes de cemento de yeso ajustados en anillos metálicos, cuyas caras posteriores están sometidas al vacío para que se elimine el agua fácilmente. - Se usa una prensa hidráulica manual. Para abrir la prensa se aplica aire a presión a algunos de los moldes, quedando la pieza formada sobre el otro molde, del cual se separa de la misma forma.

Durante el moldeo se reduce la humedad de 1 a 3%. El proceso de émbolo tiene la ventaja de requerir solamente un par de moldes y no requieren secado después de emplearse sucesivamente y puede fabricar múltiples formas.

Las ventajas que presenta el método sobre el procedimiento de colado son considerables debido a la economía del moldeo, espacio, calor para secado del molde, tiempo y la ausencia de tensión en la pieza terminada; lo cual da por resultado deformación muy pequeña.

Secado :

En el proceso de fabricación de productos cerámicos, la parte más difícil y donde se obtienen el mayor número de pérdidas en la producción, debido a los diversos factores que intervienen desde el principio del proceso y que no son fáciles de controlar correctamente, como son los diferentes tipos de arcilla, variaciones en el contenido de humedad después del moldeo, el tipo de pieza por secar, etc., es el secado.

El agua contenida en el artículo por secar se encuentra presente en las cuatro formas siguientes :

1. Agua de Contracción. Es la parte del agua libre cuya eliminación provoca una contracción del artículo, debido a que las partículas de barro se acercan entre sí.
2. Agua de Poros . Es el agua libre restante en la masa después que la contracción ha cesado. La eliminación de esta agua provoca la penetración de aire entre los espacios libres que existen entre las partículas.
3. Agua Higroscópica. Es el agua que únicamente puede ser eliminada a altas temperaturas. Depende de la cantidad de agua presente en los alrededores.
4. Agua de Composición. Es el agua que se elimina al alcanzarse temperaturas altas como las del horno.

Durante la primera etapa la reducción de volúmen es igual a la disminución de peso y la velocidad de secado está controlada por las condiciones atmosféricas.

En la segunda etapa la contracción ha cesado pero continúa la pérdida de peso y la velocidad de secado está controlada por las condiciones del cuerpo.

La velocidad de secado depende de la capacidad de absorción

de vapor de agua por el aire, esto depende a su vez de la temperatura y de la humedad relativa del aire, así como de su -- constante renovación por circulación.

El secado puede hacerse en forma natural o artificial, siendo la forma natural antieconómica para producción a gran escala debido a que dicho secado es muy lento, a la gran cantidad de mano de obra y a las variaciones de temperatura y humedad atmosféricas en las diferentes estaciones del año.

El secado artificial aprovecha el aire caliente o los gases de combustión provenientes del horno, forzándolos a pasar a través de los artículos por secar. Este secado puede efectuarse en cámaras o secadores tipo túnel continuos.

Las condiciones para un secado eficiente están determinadas por :

1. Tipo de la instalación del secado.
2. Velocidad de paso del material a través del secador.
3. Temperaturas de los gases de secado.
4. Velocidad de los gases de secado a través del material.
5. Control de la humedad.

Existen varios métodos del control de las variables que intervienen en el secado y tipos de instalaciones. El método más comunmente empleado consiste en mantener constantes la temperatura y la velocidades de los gases a la entrada del secador y controlar el secado por variaciones de la velocidad de paso del material, ajustándola de modo que la descarga de -- las piezas se haga con el grado correcto de humedad.

También es común emplear los siguientes métodos de control:

1. Reducir la velocidad del gas caliente.

2. Empezar a secar a baja temperatura y aumentar ésta progresivamente.
3. Por recirculación total o parcial de los gases calientes a través del secador, en las etapas iniciales, de modo que se eleve su humedad y haga disminuir la velocidad con que se desprende la humedad del material.

Secando en esta forma es posible evitar contracciones bruscas en la pieza, las cuales pueden causar deformaciones o la total destrucción de la pieza.

Quemado :

En la obtención de productos cerámicos en general, a la operación de secado sigue la cocción o quemado de la pieza, con el objeto de obtener un producto de gran dureza y otras propiedades necesarias para el uso al que se le destina; en el horneado de productos de arcilla, las etapas generales que requieren atención son :

1. Eliminación de Agua. Es cuando se desprende el agua higroscópica y la de composición del material.
2. Contracción. Existe una contracción del material a temperaturas cercanas a la temperatura de quemado y es donde sufre el cuarzo una transformación de su forma alfa a su forma beta.
3. Oxidación. Corresponde al quemado de la materia orgánica contenida en la arcilla. Es conveniente dar tiempo suficiente para que se efectúe correctamente los procesos mencionados.
4. Vitrificación. Después que se han realizado las reacciones del período de oxidación, da principio la vitrificación de las partículas de arcilla. Esta vitrificación continúa -- con el incremento de la temperatura, hasta el grado deseado de absorción.
5. Enfriamiento. En éste período la sílice libre en la arcilla, sufre la inversión del cuarzo de la forma beta a la alfa, acompañada de una violenta contracción, temp. de 600°C.

Para evitar fracturas en este punto el enfriamiento debe ser lento.

En el horneado de productos cerámicos, se emplean hornos intermitentes o continuos. Un horno intermitente es aquel en que la carga se introduce estando frío, y que luego es calentado hasta la temperatura deseada. Para descargarlo se permite que se enfríe hasta cerca de la temperatura ambiente.

Este tipo de hornos puede tener una estructura permanente en cuyo caso se emplean materiales refractarios adecuados o puede ser de estructura temporal, que se construya con el mismo material que se va a quemar.

Un horno intermitente emplea gran cantidad de combustible y su eficiencia térmica es muy baja por las elevadas pérdidas de calor a través de las paredes y en el enfriamiento de la estructura. Otro grave problema que presentan estos hornos es la fatiga de la estructura, cuando es permanente, debida a los constantes cambios de temperatura.

Hornos continuos. Estos hornos pueden ser de dos tipos diferentes, de flama ambulante o de carga móvil. El horno de flama ambulante está formado esencialmente de un número de hornos intermitentes colocados en serie, mientras en un horno o cámara, se produce la cocción de artículos, en otra se está enfriando o calentando la carga simultáneamente. En estos hornos se recupera el calor de los gases de combustión, sin embargo se permite que las paredes se enfríen en cada carga.

El segundo tipo de horno continuo consiste de un túnel largo construido con ladrillos refractarios y piezas cerámicas comunes, provisto de varios quemadores para la producción y aplicación de calor, y ventiladores que hacen circular el aire

caliente y los gases hacia los lugares adecuados. La temperatura varía de un extremo a otro del túnel, pero se mantiene constante en un mismo punto. Cualquiera que sea el tamaño de estos hornos se encuentran divididos en tres zonas de calor que son: zona de calentamiento, zona de fuego y zona de enfriamiento. El artículo sufre todos los procesos de quemado en su paso a través del túnel y es transportado por medio de carros.

Las características principales en este tipo de horno son un mejor aprovechamiento del combustible, períodos de cocción - más cortos, menor costo de mano de obra, mayor porcentaje de producción de primera calidad y una mayor capacidad de producción. A cambio de estas ventajas se tiene una menor flexibilidad para hacer los cambios de ciclos de quemado.

CAPITULO V

DISEÑO DEL HORNO TUNEL

Para proceder al diseño del horno para la producción de bujías cerámicas tratadas en este anteproyecto, se tomarán en cuenta las condiciones establecidas dentro de este mismo estudio y las que la práctica y literatura aconsejan.

Condiciones Establecidas :

Producción diaria de 1,800⁺

Peso de la Pieza es de 200 gr

Medidas de la Pieza : 23cm altura, 5cm diam. ext. y
3.5cm diam. int.

Volumen de la Pieza : 0.000904 m³

Humedad de la Carga : 0.5%

Condiciones medias del aire : Temp. 17°C y 0.011 $\frac{\text{g agua}}{\text{g aire seco}}$

Combustible : Gas Natural.

Análisis del Combustible : 92% CH₄ , 6% C₂H₆ , 2% C₃H₈

Combustión con 60% de exceso de aire.

Ciclo de Quemado : 24 horas.

⁺Pero se requiere una chamota que tendrá las características del producto terminado, por lo cual se producirán 3600 piezas diarias.

Curva de Quemado :

De acuerdo a las características de la arcilla y del producto que se desea obtener, se encontró que la curva de quemado teórica más adecuada para la cocción es la siguiente :

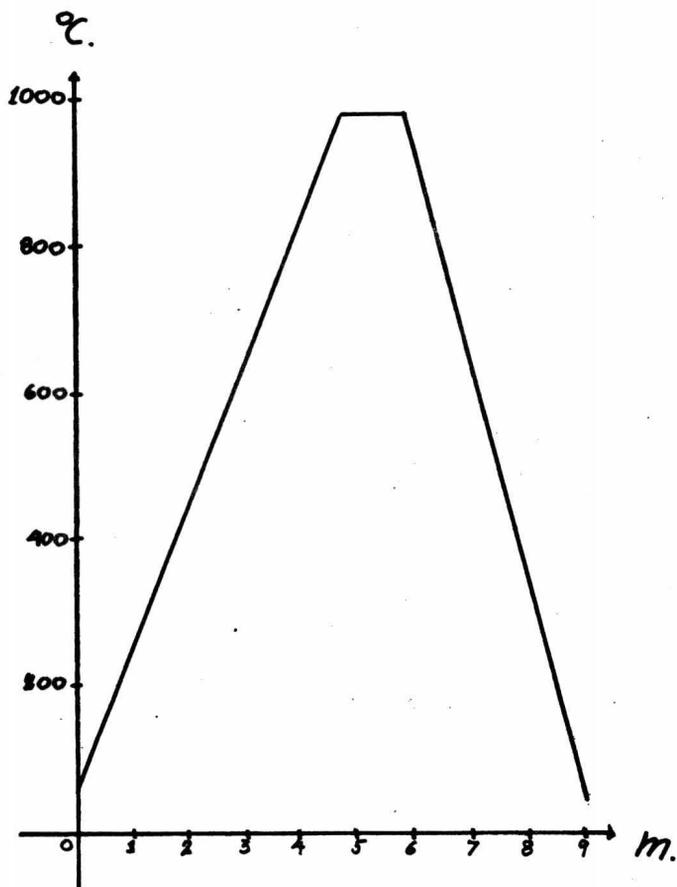
Curva de Quemado.

Fig. N. 2

Balance de Material en la Combustión :

Base : 100 moles gas natural.

Se considera combustión completa.



por lo tanto, moles de oxígeno necesario para la combustión:

$$\begin{array}{rcl} 2 & \times & 92 & = & 184 & \text{ moles de oxígeno} \\ 3.5 & \times & 6 & = & 21 & \text{ " " "} \\ 5 & \times & 2 & = & 10 & \text{ " " "} \\ & & & & \hline & & & & & \end{array}$$

Total : 215 moles de oxígeno

Como la combustión se realiza con un 60% de exceso, tenemos:

$$\text{Oxígeno Total} = 215 \times 1.6 = 344 \text{ moles Oxígeno.}$$

Nitrógeno alimentado con el oxígeno :

$$79/21 \times 344 = 1,294 \text{ molesde Nitrógeno.}$$

Agua como humedad del aire :

$$\text{Humedad} = 0.011 \times 29/18 = 0.0177 \text{ g/molagua/gmol aire seco.}$$

$$\text{de aquí : } 0.0177 \times 1,638 = 29 \text{ moles de agua.}$$

Agua formada en la combustión :

$$\begin{array}{rcl} 2 & \times & 92 & = & 184 & \text{ moles de agua} \\ 3 & \times & 6 & = & 18 & \text{ " " "} \\ 4 & \times & 2 & = & 8 & \text{ " " "} \end{array}$$

$$\text{Total moles de agua} = 29 + 184 + 18 + 8 = 239 \text{ moles .}$$

$$\text{Total moles de Aire} = 344 + 1,294 = 1,638 \text{ moles aire.}$$

Bióxido de Carbono formado en la combustión :

1	x	92	=	92	moles de bióxido
2	x	6	=	12	" " "
3	x	2	=	6	" " "

TOTAL : 110 moles de Bióxido.

Resumen :

ALIMENTACION		GASES DE COMBUSTION	
Componente	moles	Componente	moles
CH ₄	92	CO ₂	110
C ₂ H ₆	6	O ₂	129
C ₃ H ₈	2	N ₂	1,294
O ₂	344	H ₂ O	239
N ₂	1,294		
H ₂ O	29		
Total	1,767	Total	1,772

Peso Molecular del Gas Natural :

CH ₄	92	x	16	=	1,472
C ₂ H ₆	6	x	30	=	180
C ₃ H ₈	2	x	44	=	<u>88</u>
Total					1,740

Por lo tanto P.M. = 1,740/100 = 17.4 g/gmol

Peso Molecular de los Productos de Combustión :

CO ₂	110	x	44	=	4,840	
O ₂	129	x	32	=	4,120	P.M. = 49150/1772
N ₂	1294	x	28	=	36,250	P.M. = 28.2 g/gmol
H ₂ O	239	x	18	=	<u>4,300</u>	
Total					= 49,510	

Cálculo de la Temperatura de Flama :

Con objeto de determinar si el combustible escogido es el adecuado para el proceso de cocción de éstos artículos, es necesario calcular la temperatura de flama :

Base : 100 moles de Gas Natural.

Ecuación empleada en el cálculo de la temperatura :

$$\Delta H = \sum H_P + \sum H_C - \sum H_R \quad 298^\circ K$$

Considerando la temperatura base de $298^\circ K$:

$$\sum H_{R_{298^\circ K}} = 0 \qquad \Delta H = 0$$

$$\text{Por lo tanto : } \sum H_P = -\sum \Delta H_C$$

Cálculo de $\sum H_P$ entre la temperatura de flama y $298^\circ K$:

$$\begin{aligned} CO_2 : & 110(6.339(T-298) + 0.00507(T^2-298^2) - 1.47(T^3-298^3)(10^6)) \\ & = 697 T + 0.567 T^2 - 125 \times 10^6 T^3 - 254000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} O_2 : & 129(6.117(T-298) + 0.00158(T^2-298^2) - 0.335(10^6)(T^3-298^3)) \\ & = 790 T + 0.205 T^2 - 43.2(10^6) T^3 - 252000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_2 : & 1294(6.457(T-298) + 0.00069(T^2-298^2) - 0.029(10^6)(T^3-298^3)) \\ & = 8360 T + 0.9 T^2 - 29.8(10^6) T^3 - 2570000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H_2O : & 239(7.136(T-298) + 0.0132(T^2-298^2) + 0.0153(10^6)(T^3-298^3)) \\ & = 1710 T + 0.315 T^2 + 3.66(10^6) T^3 - 535000 \end{aligned}$$

Por lo tanto :

$$\sum H_P = 11,557 T + 1.976 T^2 - 194.5 \times 10^6 T^3 - 3,613,000$$

Cálculo de H_C :

$$-\sum\Delta H_C = - (-92 \times 212798 - 6 \times 372820 - 2 \times 530605) = 22,900,000 \text{ cal}$$

De aquí se obtiene :

$$\sum H_P = -\sum\Delta H_C$$

$$11557 T + 1.976 T^2 - 194.5 \times 10^6 T^3 - 3613000 = 22900000 \text{ cal}$$

Donde T = temperatura de flama en grados Kelvin.

Resolviendo el sistema anterior se tiene una temperatura de flama de $1,828^\circ\text{K}$ o sea $1,550^\circ\text{C}$. Puesto que la temperatura requerida es de 980°C , el combustible es el adecuado.

Dimensiones del Horno :

Considerando cada Bujía con un volumen de 0.000904 m^3 , la carga dentro del Horno ocupará un volumen de :

$$\frac{0.000904 \text{ m}^3}{\text{Bujía}} \times \frac{3,600 \text{ Bujías}}{24 \text{ hrs}} \times 24 \text{ hrs} = 3.254 \text{ m}^3$$

Dado que es recomendable tener un 65% de exceso, por el acomodo de las piezas y circulación de aire (ver fig. 3) :

$$\text{Vol. Horno} = 3.254 \times 1.65 = 5.369 \text{ m}^3$$

Para el tamaño de Bujía (23 cm) es recomendable una sección útil de 0.59 m^2 , para poder dar las dimensiones de los carrros (fig. 4), por lo cual la longitud del horno será :

$$\text{Longitud Horno} = 4.56 \text{ m}^3 / 0.59 \text{ m}^2 = 9.10 \text{ m}$$

Longitud de las Zonas Térmicas :

$$\text{Zona de Precalentamiento} = 4.10 \text{ m}$$

$$\text{Zona de Fuego} = 2.00 \text{ "}$$

$$\text{Zona de Enfriamiento} = 3.00 \text{ "}$$

Características de la Corona (Fig. 5) :

La sección de la corona está formada por el arco sustentado entre los radios r , de un ángulo θ . La cuerda tiene una longitud C y la de la flecha es 20% de la longitud de dicha cuerda.

La longitud de la cuerda (C) es de 0.6 m, por lo tanto, la longitud de la flecha será : $0.6 \times 0.2 = 0.12 \text{ m}$.

$$r = \frac{C^2 + 4F^2}{8F} = 0.435 \text{ m.}$$

$$\text{Cálculo del ángulo } \theta : \quad \theta/2 = \left(\frac{C/2}{r - F} \right) \text{ ang. tan.}$$

Colocación de las Bujías 34.
Sobre la Placa de Refractario.

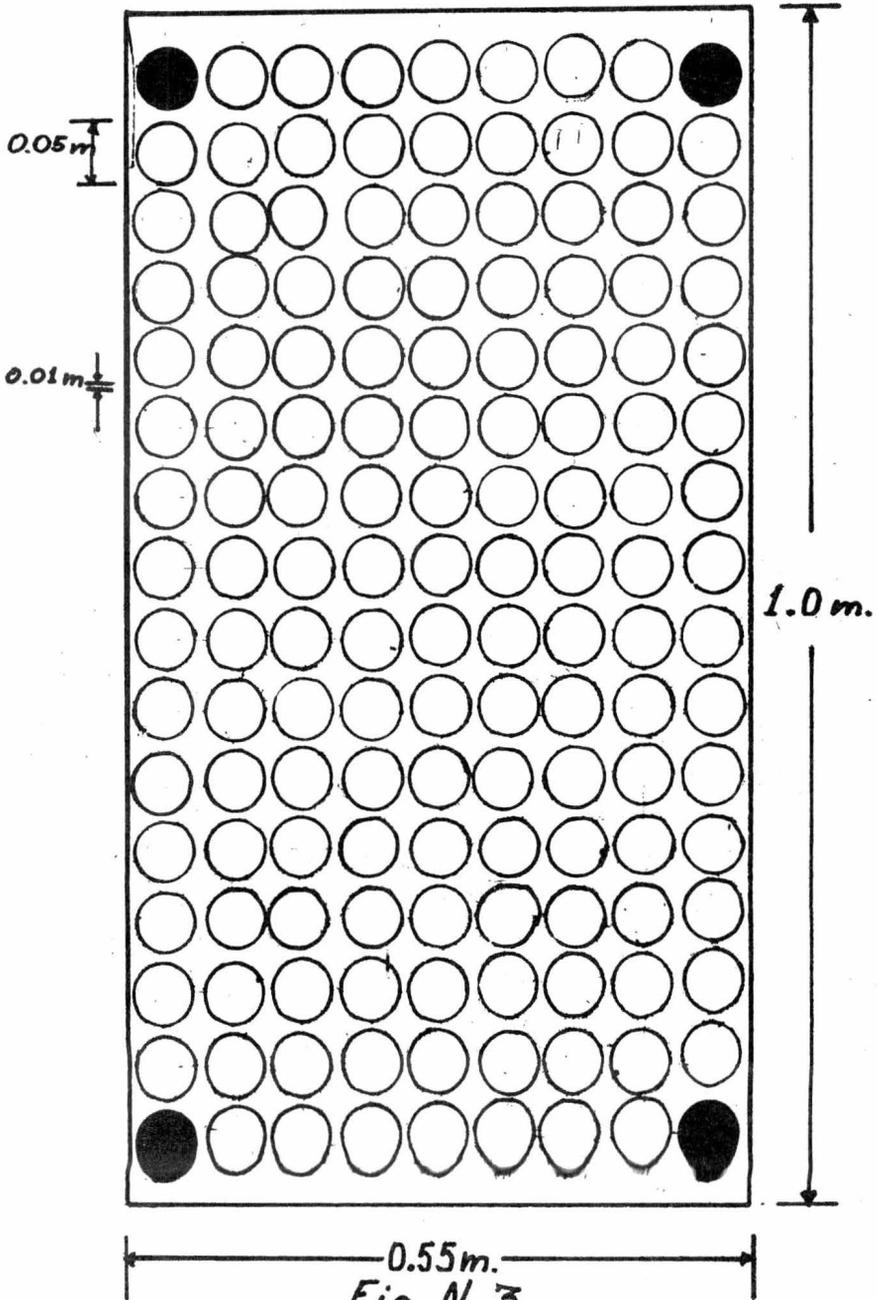
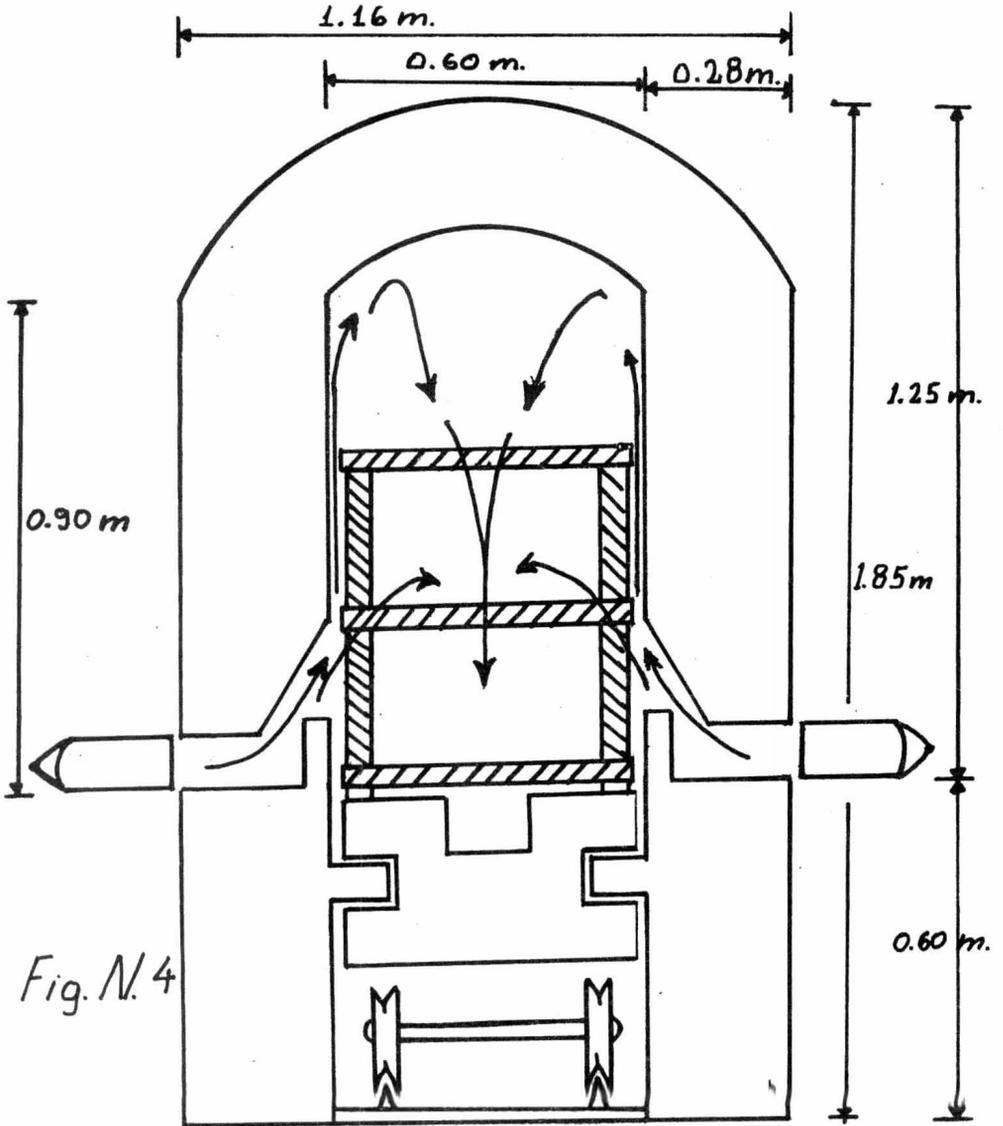


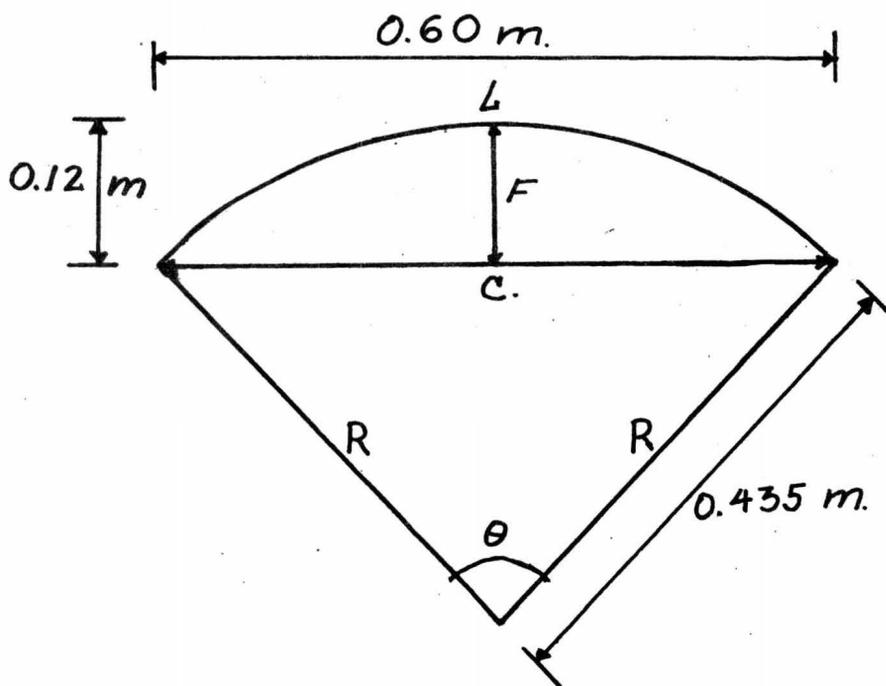
Fig. N. 3

Corte del Horno a la Altura
de los Quemadores.

35.



Dimensiones de la Corona.



$$L = 0.662\text{ m.}$$

$$\theta = 87.20^\circ$$

Fig. N. 5

$$\theta/2 = \text{ang tan } (0.952)$$

$$\theta/2 = 43.60^\circ \quad \text{de aquí } \theta = 87.20^\circ$$

Longitud del Arco (L) :

$$L = \frac{2\pi \times r \times \theta}{360^\circ} = \frac{2 \times 3.14 \times 0.435 \times 87.20^\circ}{360^\circ} = 0.662 \text{ m}$$

El área de la Sección de la Corona, está dada por :

$$A = \frac{1}{2} (r(L-C) + CF) = \frac{1}{2} (0.435(0.662-0.6) + 0.6(0.12))$$

$$A = 0.0495 \text{ m}^2$$

$$\text{Area Sección Recta} = 0.59 - 0.0495 = 0.5405 \text{ m}^2$$

$$\text{Altura de las Paredes} = 0.5405/0.6 = 0.90 \text{ m}$$

Las paredes y la corona serán construídas de ladrillos de arcilla refractaria ($k=1.34 \text{ Kcal/hm}^2\text{°C/m}$) cuyo espesor es :

$$L = \frac{k A T}{Q} = \frac{1.34 \times 15 \text{ m}^2 \times (980 - 30) \text{ °C}}{69.9 \times 10^3 \text{ Kcal}} = 0.28\text{m}$$

L = espesor de la pared en metros.

A = Area de paredes y corona en m^2 .

Q = Calor perdido por conducción en paredes.

k = coeficiente de conductividad térmica del ladrillo.

T = Diferencia de temperatura entre el interior del horno y el exterior.

Dimensiones de los Carros : (figs. 6A y 6B)

Las características de los carros serán :

0.55 m de ancho y 1.00 m de largo . Con 3 capas de una altura de 25 cm entre cada una, formada de material refractario de 4cm de espesor. La densidad del refractario es 2 g/cm^3 .

Vista Frontal del Carro.

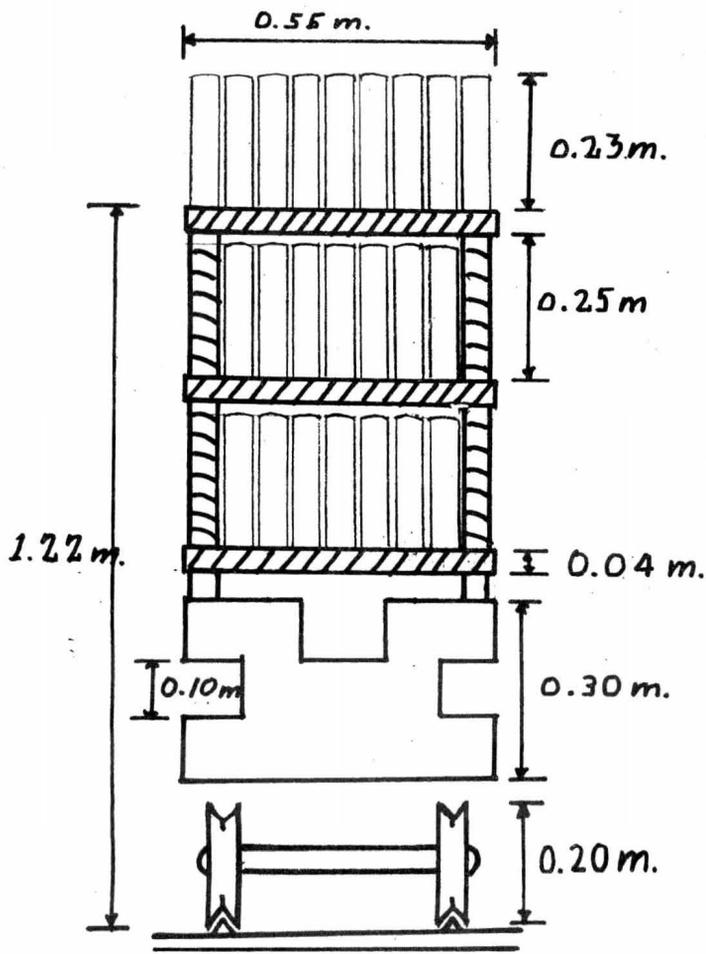


Fig. N. 6 A

Vista Lateral del Carro.

39.

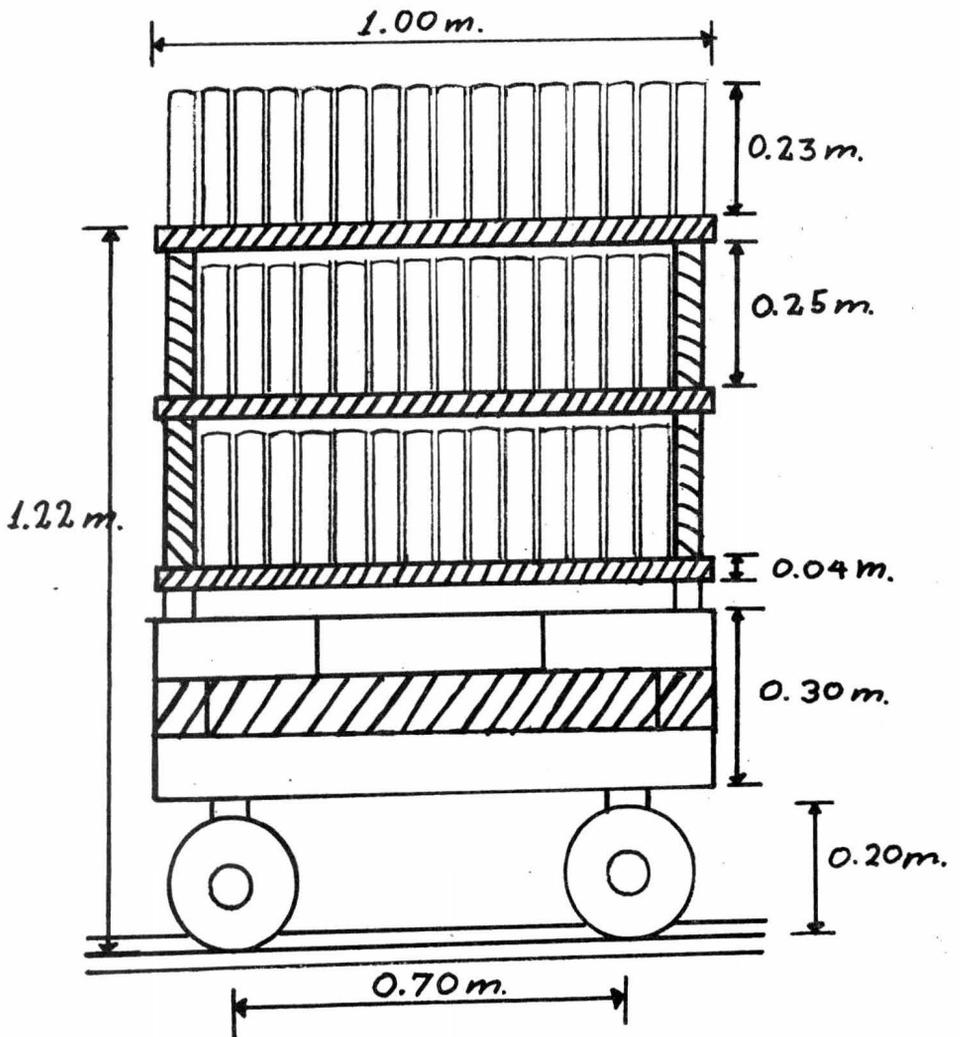


Fig. 6B

Volumen de la Placa = $1 \text{ m} \times 0.6 \text{ m} \times 0.04 \text{ m} = 0.024 \text{ m}^3$

Peso por placa = $2 \text{ g/cm}^3 \times 1000 \times 0.024 \text{ m}^3 = 48 \text{ Kg.}$

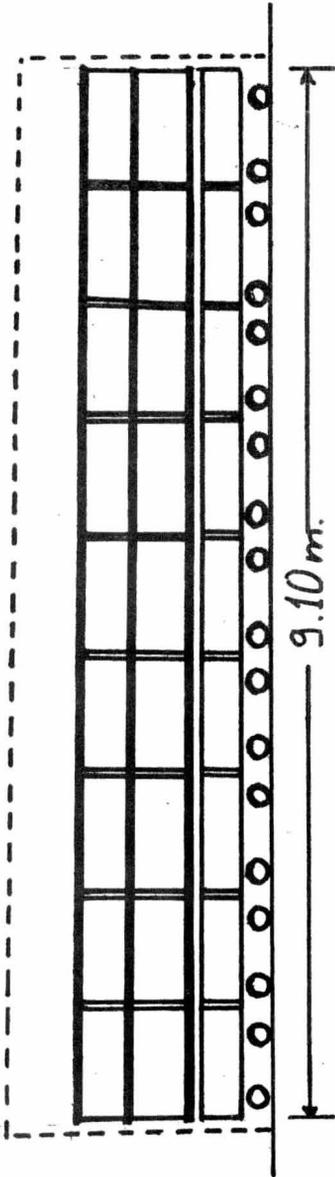
Peso refractario por carro = $48 \times 3 = 144 \text{ Kg}$

Carros dentro del Horno = $9.00/1 = 9 \text{ carros (fig. 7)}$

Velocidad de los carros dentro del horno :

Vel. = $9 \text{ carros} / 24 \text{ horas} = 0.38 \text{ carros/hora.}$

Para el horno y el secador (que es de las mismas dimensiones) se necesitarán 25 carros para cumplir con el ciclo de 24 horas y poder tener en carga y descarga los suficientes y no - parar la producción.



Vista Lateral
de los Carros.
dentro del
Horno o del
Secador.

Fig. N. 7

Balance de Calor.

Base : 1 hora .

Calor necesario para calentar y quemar la carga :

Peso del Producto Quemado = $3600 / 24 \times 0.2 \text{ kg} = 30 \text{ kg}$.

Peso de la carga al entrar al horno con 0.5% de humedad:

$30 / 1 - 0.005 = 30.15 \text{ kg}$.

Agua como humedad de la carga = $30.15 - 30 = 0.15 \text{ kg}$.

No hay pérdidas por calcinación. Por lo cual el contenido de materia arcillosa en la carga es de 0 % .

El Proceso Químico que sufre la carga dentro de la cocción - es el calentamiento de 60°C a 980°C por lo cual la cantidad de calor necesario, será :

1° Se obtiene la capacidad calorífica de la sílice :

$C_p = 0.255 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$.

Por lo tanto, la cantidad de calor es :

$Q = 30 \text{ kg} \times 1000 \text{ g/kg} \times 0.255 \text{ cal/g}^\circ\text{C} \times (980-60)^\circ\text{C} = 7.04 \times 10^6$
cal

Se consideran también los procesos que sufre el agua que acompaña a la carga, se tiene :

1° Calor necesario para calentar el agua de humedad de 60 a 100°C :

$150 \text{ g} \times 1 \text{ cal/g}^\circ\text{C} \times (100 - 60)^\circ\text{C} = Q = 6.03 \times 10^3 \text{ cal}$.

2° Calor para evaporar esta agua a 100°C :

$Q = m \times \lambda = 150 \text{ g} \times 532 \text{ cal/g} = 79.8 \times 10^3 \text{ cal}$.

3° Calor necesario para calentar el vapor de 100 a 150°C :

$Q = 150/18 \times 8.13 \text{ cal/gmol} \times (150-100)^\circ\text{C} = 3.38 \times 10^3 \text{ cal}$.

Calor total para el agua :

$$Q = (6.03 + 79.8 + 3.38) \times 10^3 \text{ cal} = 0.09 \times 10^6 \text{ cal.}$$

Por otro lado el calor cedido a los gases, por enfriamiento del vapor correspondiente al agua de descomposición, será :

$$Q = 150/18 \times 8.75 \text{ cal/gmol } ^\circ\text{C} \times (980-150) = 0.06 \times 10^6 \text{ cal.}$$

Pérdidas por Conducción en paredes y corona :

Estas pérdidas se estiman de los datos proporcionados por el Ceramica Data Book, para ello se divide el horno en zonas de un metro de longitud y se toma la temperatura promedio en dicha zona.

Zonas Precalementineto y Fuego Pérdidas por Cond.
BTU/pie²

Zona	Temp °C	Paredes	Corona
0 a 1	160	60	150
1 a 2	300	80	200
2 a 3	420	170	390
3 a 4	620	250	600
4 a 5	750	300	710
5 a 6	980	415	1000
SUMA		1275	3050

Zona Enfriamineto

6 a 7	800	310	730
7 a 8	400	150	300
8 a 9	125	30	80
SUMA		490	1110

Por lo tanto, pérdidas por conducción zonas de Pre y Fuego :

$$\text{Paredes} = 2 (1275 \text{ BTU/ft}^2 \times 6 \text{ m}) \times 0.9 \text{ m} \times 2700 \text{ calft}^2/\text{BTU m}^2$$

$$= 37.18 \times 10^6 \text{ cal.}$$

$$\text{Corona} = 1(3050 \times 0.662 \text{ m} \times 6 \text{ m}) \times 2700 = 32.72 \times 10^6 \text{ cal}$$

Zona Enfriamiento :

$$\text{Paredes} = 2(490 \times 3\text{m}) \times 0.9\text{m} \times 2700 = 7.14 \times 10^6 \text{ cal}$$

$$\text{Corona} = 1(1110 \times 3\text{m}) \times 0.662\text{m} \times 2700 = 5.76 \times 10^6 \text{ cal.}$$

$$\text{Totales : } \quad \text{Z. Fuego y Pre} = 69.9 \times 10^6 \text{ cal}$$

$$\quad \quad \quad \text{Z. Enfriamiento} = 12.9 \times 10^6 \text{ cal}$$

Calor necesario para calentar el refractario de los carros:

$$\text{Peso refractarios} = 144\text{kg/carro} \times 0.38 \text{ carros/hr} = 54.72 \text{ kg}$$

$$\text{Qr} = 54720 \text{ g} \times 0.502 \text{ cal/g } ^\circ\text{C} \times (980-60)^\circ\text{C} = 25.28 \times 10^6 \text{ cal.}$$

Calor perdido por los gases de combustión :

$$\text{Qg} = (11557 \text{ T} + 1.96 \text{ T}^2 - 194.4 \times 10^{-6} \text{ T}^3 - 3.613 \times 10^6) \text{ cal/}^\circ\text{K}$$

en donde T = temperatura de los gases en la chimenea = 150°C

$$\text{T} = 150 + 273 = 423^\circ\text{K}$$

$$\text{Por lo tanto : } \quad \text{Qg} = 1.63 \times 10^6 \text{ cal/100 gmol de combustible.}$$

Requisitos de Calor :

$$1^\circ \text{ Calentamiento y quemado de la carga} = 7.04 \times 10^6 \text{ cal}$$

$$2^\circ \text{ Calor necesario para procesos humedos} = 0.09 \times 10^6 \text{ "}$$

$$3^\circ \text{ Calentamiento refractarios carros} = 25.28 \times 10^6 \text{ "}$$

$$4^\circ \text{ Pérdidas por conducción} = 69.90 \times 10^6 \text{ "}$$

$$5^\circ \text{ Pérdidas por los productos combustión} = 1.63 \times 10^6 \text{ "}$$

a = cientos de moles de combustible.

$$6^\circ \text{ Calor cedido por el agua de descomposición} = - 0.06 \times 10^6 \text{ "}$$

$$\text{Total} = (1.63 \times a + 102.25) \times 10^6 \text{ cal.}$$

Combustible necesario :

$$(102.25 + 1.63a) \times 10^6 \text{ cal} = 22.9 \times 10^6 \text{ cal}$$

$$\text{donde } a = 4.81$$

$$\text{Combustible necesario} = 481 \text{ gmol gas.}$$

Volumen del combustible a 17°C y 586 mm Hg :

$$\text{Vc} = 481 \times 0.0224 \times 760/586 \times 290/273 = 14.84 \text{ m}^3$$

$$\text{Peso del Combustible} = 481 \text{ gmol} \times 0.0174 \text{ kg/gmol} = 8.37 \text{ kg}$$

$$\text{Aire Necesario} = 1638 \text{ moles aire /100 mol c.} \times 4.81 = 7878.78 \text{ gmol aire}$$

Peso del aire seco = $7878.78 \text{ gmol} \times 0.029 \text{ kg/gmol} = 228.48 \text{ kg}$

Agua como humedad del aire = $228.48 \times 0.011 = 2.51 \text{ kg}$

Vol. aire cond. alimentación = $(7878.78 + 2510/18) \times 0.0224 \times$
 $760/586 \times 290/273 = 247.44 \text{ m}^3$

Productos combustión = $1772 \text{ moles} \times 4.81 = 8523.32 \text{ gmol}$

Peso prod. combustión = $8523.32 \text{ gmol} \times 0.0282 \text{ kg/gmol} = 240.36 \text{ kg}$

Resumen entradas y salidas de material, en las zonas de Pre y Fuego, por hora :

Entradas :	Salidas :
Carga Humeda = 30.15 kg	Carga Calcinada = 30.0 kg
Gas combustible = 8.37 kg	Humedad Carga = 0.15kg
Aire Seco = 228.48 kg	Prods. Combustión = 240.36kg
Humedad aire = 2.51 kg	
Total = 269.89 kg	Total = 270.51 kg

En cuanto a la Zona de Enfriamiento se tiene :

Calor que es necesario eliminar, para enfriar la carga :

$$Q = 30000 \text{ g} \times 0.255 \text{ cal/g}^\circ\text{C} \times (980-40)^\circ\text{C} = 7.19 \times 10^6 \text{ cal}$$

$$\text{Pérdidas por conducción pared y corona} = 12.9 \times 10^6 \text{ cal}$$

Calor que es necesario eliminar para enfriar el refractario:

$$Q = 54720 \text{ g} \times 0.502 \text{ cal/g}^\circ\text{C} \times (980-40)^\circ\text{C} = 25.82 \times 10^6 \text{ cal}$$

Calor que pasa al aire de enfriamiento :

$$Q_{\text{aire}} = (7.19 + 25.82 - 12.9) \times 10^6 \text{ cal} = 20.11 \times 10^6 \text{ cal}$$

Cantidad de Aire para el enfriamiento :

$$Y \times C_p \times (250^+ - 17)^\circ\text{C} = 20.11 \times 10^6 \text{ cal}$$

$$C_p = 7.59 \text{ cal/gmol } ^\circ\text{C}$$

$$\text{por lo tanto : } Y = 11,371.5 \text{ gmol aire/hora} = 350.9 \text{ m}^3/\text{h}$$

a 17°C y 586mm Hg.

+Se fija esta temperatura para poder utilizar el aire tanto en los quemadores y en el secador para tener una mayor eficiencia.

Cálculo del calor absorbido por el flujo de aire en el enfriamiento, por medio del Coeficiente de Transferencia de Calor.

$$Q = U A (\text{LMTD})$$

Para calcular el valor de U, se sigue el siguiente método: Primero se calculará el flujo de aire que pasa a través de las piezas cerámicas, esto es :

Se toma la superficie, tanto total como la de la zona libre que dejan las piezas para el flujo de aire.

$$w_1 = W_T \times (A_l/A_t) \times F_b$$

$$W_T = \text{Flujo total de aire.} = 11,371.5 \text{ gmol aire / h.}$$

$$A_l = \text{Area libre entre piezas} = 0.10 \text{ m}^2$$

$$A_t = \text{Area total del horno} = 0.59 \text{ m}^2$$

$$F_b = \text{Factor de By-pass} = 0.8$$

$$w_1 = \text{Flujo del aire entre las piezas.}$$

$$\text{De donde ; } w_1 = 1541.91 \text{ gmol aire/h.}$$

$$w_2 = \text{Flujo de aire en zona libre} = W_T - w_1 = 9829.59 \text{ gmol/h.}$$

Se calcula la masa velocidad :

$$G = w_1 / A_l = 1541.91 / 0.1 = 15,419.1 \text{ gmol/m}^2\text{h} = 447.15 \text{ Kg/m}^2\text{h}$$

$$\text{El coeficiente es : } h_a = 2.7 \text{ Re}^{\cdot 8} \text{ Pr}^{\cdot 33} \text{ ka / de}$$

Para obtener estos valores se tiene ;

$$\text{Re} = G \text{ de} / \mu_a$$

$$\text{de} = \frac{4 \cdot (Pt^2 - 3.14 \cdot do^2/4)}{3.14 \cdot do} = 0.0417 \text{ m.}$$

$$\text{Donde : } do = 0.05 \text{ m ; } Pt = 0.06 \text{ m.}$$

$$\mu_a = 3.5 \text{ Cp} = 12.60 \text{ Kg/m h.}$$

$$\text{Por lo tanto : } \text{Re} = 447.15 \times 0.047 / 12.60 = 1.48$$

$$\text{de donde ; } \text{Re}^{\cdot 8} = 1.37$$

$$\text{Pr para el aire} = 0.75$$

$$\text{De donde ; } \text{Pr}^{\cdot 33} = 0.91$$

$$k \text{ aire} = 0.28 \text{ Kcal/h m}^2 (\text{°C/m})$$

Con todos los datos anteriores tenemos :

$$h_a = 2.7 \times 0.28 \times 0.91 \times 1.34 / 0.0417 = 22.6$$

U es igual al h_a , ya que se comporta como un bloque de tubos en donde se toma en cuenta solamente el flujo de aire :

$$U = 22.6 \text{ Kcal/h m}^2 \text{ °C}$$

$$\text{LMTD} = \frac{(980 - 250) - (40 - 17)}{\ln \frac{730}{23}} = 204.5 \text{ °C.}$$

La suma de las áreas de todas las piezas más el área de los refractarios por carro es de 19.63 m^2 , tomando en cuenta que la velocidad de los carros es de 0.38 m/h , usaremos una área útil de 7.46 m^2 .

$$\text{De aquí : } Q = 22.6 \times 7.46 \times 204.5 = 34.478 \times 10^6 \text{ cal.}$$

Como las pérdidas por conducción son de $12.9 \times 10^6 \text{ cal}$.

$$\text{Tenemos : } Q_a = 34.478 \times 10^6 - 12.9 \times 10^6 = 21.58 \times 10^6 \text{ cal.}$$

Comparado con el cálculo anterior de : $Q_a = 20.11 \times 10^6 \text{ cal}$.

Hay un error menor al 10%, por lo tanto el valor calculado es correcto.

Quemadores (fig. 8) :

Para la producción de calor es conveniente emplear quemadores de exceso de aire, con objeto de obtener una mayor uniformidad de temperatura, puesto que se eliminan los puntos calientes al frente de la flama y se produce una atmósfera homogénea dentro del horno.

Puesto que la zona de fuego tiene 2 m de longitud, se pueden colocar 4 quemadores en ambas paredes (2 en c/u) con una separación de 1 m entre ellos.

$$\begin{aligned} \text{Capacidad promedio} &= 22.9 \text{ cal} \times .481 \text{ gmol} \times 10^6 / 4 \times 252 \frac{\text{cal}}{\text{BTU}} \\ &= 1.093 \times 10^6 \text{ BTU.} \end{aligned}$$

Para seleccionar el quemador comercial, es recomendable un exceso del 15% de la capacidad promedio :

$$\text{Capacidad} = 1.093 \times 1.15 = 1.257 \times 10^6 \text{ BTU}$$

Un quemador comercial de capacidad nominal de $1.285 \times 10^6 \text{ BTU/h}$ cubre perfectamente las necesidades. Este quemador trabaja con aire a una presión de 12 onzas/pulg².

Ventiladores (fig. 9) :

Debido a que las especificaciones para los ventiladores están dadas para condiciones estandar de presión y temperatura, a continuación se calculan las correlaciones necesarias para la selección del ventilador adecuado.

Se supone una caída de presión de 3 onzas/in² en la línea -- del ventilador que proporciona el aire para la zona de enfriamiento, pero como se tiene que dar una presión de 12 onzas/in² al aire de alimentación de los quemadores, la presión de trabajo de éste ventilador será de 15 onzas/in², puesto que se trabaja a 586 mm Hg, la presión requerida será :

Vista Superior de los Quemadores.

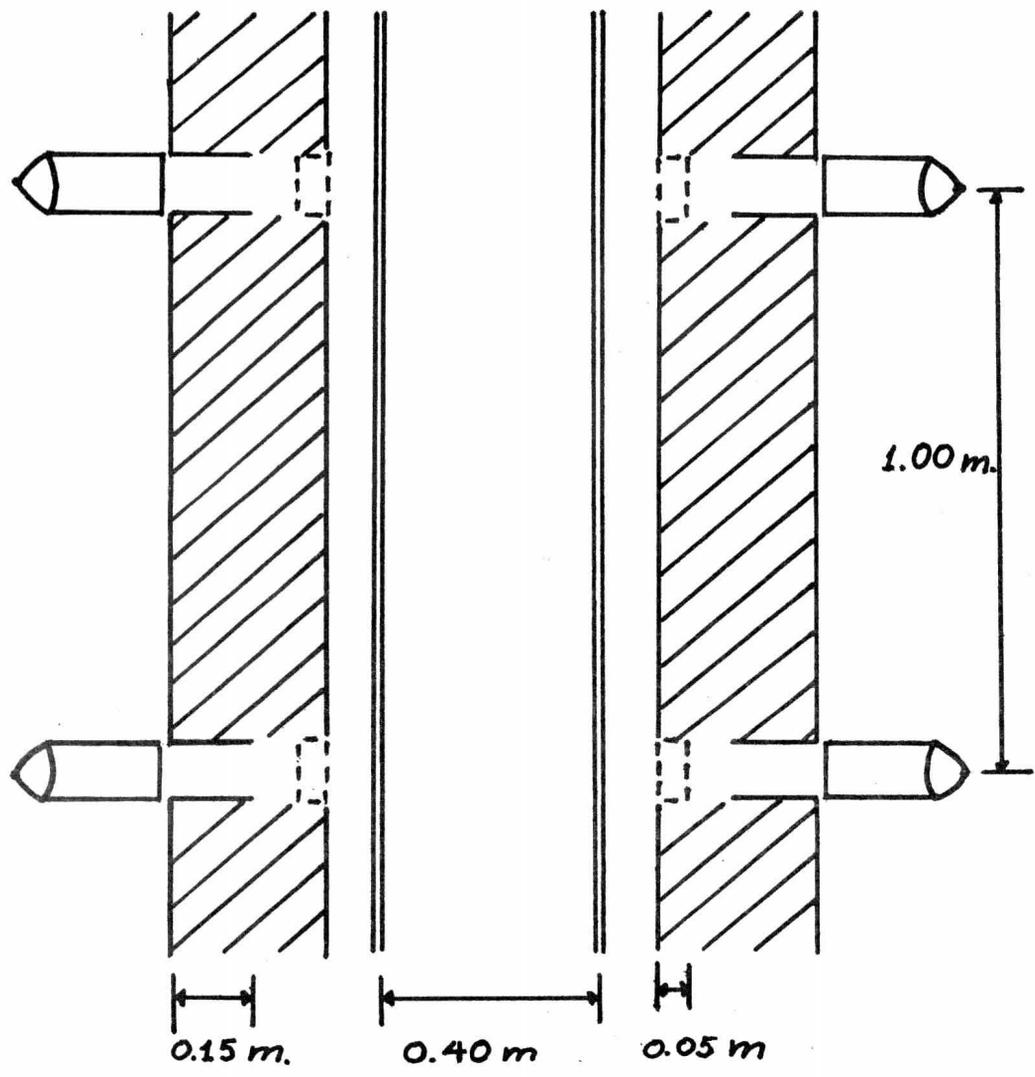
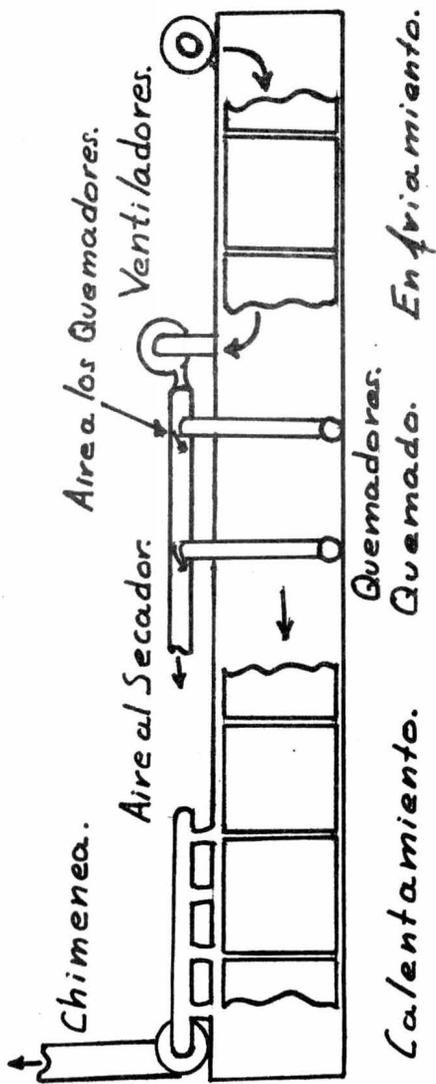


Fig. N. 8



Distribucion
del Aire
Dentro del
Horno.

Fig. N 9

$$P = \frac{P_t}{G}$$

donde : P_t = Presión de Trabajo.
 P = Presión a nivel del mar.
 G = Rel. Gravedad específica del ai
re en las cond. de trabajo, a -
la gravedad esp. en las cond. -
estandard.

de aquí : $G = 1 \times 586/760 = 0.77$

Por lo tanto ; $P = 15/.77 = 19.4$ onzas/in²

El gasto de aire para la zona de enfriamiento es de 351m³/h o sea 206.6ft³/min, por lo tanto a nivel del mar se requerirán :

$$q = 206.6 \text{ ft}^3/\text{min} \times 0.77 = 159.1 \text{ ft}^3/\text{min} .$$

Un ventilador que produce este gasto con una presión de 20 - onzas/in² nominal, requiere una potencia de :

$$\text{BHP} = q \times P / 6356 (n) = 159.1 \times 34.1 \text{ in H}_2\text{O}/6356 (0.6) = 1.42$$

$$\text{Potencia} = 1.5 \text{ HP}$$

Para la zona de fuego se selecciona un ventilador de 20 onzas/in² para dar la presión en los quemadores al aire proveniente de la zona de enfriamiento y otro de las mismas características para enviar los gases de combustión al exterior, estos dos ventiladores también tendrán un motor con una potencia de 1.5 HP.

CAPITULO VI

DISEÑO DEL SECADOR TUNEL

El secador tipo túnel es el más adecuado en esta industria, ya que permite un mejor aprovechamiento del calor, destinado al secado y sobre todo un mayor control de ésta operación. - Es posible emplear con este equipo el aire de enfriamiento - del horno túnel para el secado.

En el capítulo anterior, diseño del horno túnel, quedaron establecidas las condiciones del aire empleado para el secado.

El aire empleado para el secado sale del horno con una temperatura de 250°C y una humedad absoluta de 0.011 g agua/g aire seco. Se estima que en el ducto que lo conduce hacia el - secador hay una pérdida de calor del 20%.

La carga entrará al secador con una temperatura de 20°C y una humedad del 10%, deberá salir de él con una humedad máxima - de 0.5% y a una temperatura de 60°C.

Cálculo de la temperatura del aire a la entrada del secador:

Base : 1 hora

Cantidad de calor aprovechable para el secado :

$$Q_s = 20.11 \times 10^6 \text{ cal} \times 0.80 = 16.09 \times 10^6 \text{ cal.}$$

$$y Q = Y C_p (T_h - T_s)$$

en donde Y es la cantidad de aire empleada en el enfriamiento de la carga, T_h es la temperatura a la salida del horno y T_s la temperatura del aire a la entrada del secador, en grados K

$$Y = 11,371.5 \text{ gmol} \quad C_p = 7.59 \text{ cal/gmol } ^\circ\text{K} \quad T_h = 523^\circ\text{K}$$

$$(20.11 - 16.09) \times 10^6 \text{ cal} = 11371.5 \text{ g mol} \times 7.59 \times (523 - T_s)$$

por lo tanto, $T_s = 477^\circ\text{K} = 204^\circ\text{C}$

Balance de Calor :

Base: 1 hora.

Calor para elevar la temperatura de la carga seca de 20 a 60°C . Como se indica en el diseño del horno, el peso de los artículos que debe quemar el horno es de 30.15 kg, con un contenido de sustancia arcillosa de 0%, por lo cual :

$$C_p = 0.182 \text{ cal/g}^\circ\text{C}.$$

$$y Q = 30,150 \text{ g} \times 0.182 \text{ cal/g}^\circ\text{C} \times (60-20)^\circ\text{C} = 0.22 \times 10^6 \text{ cal}$$

Calor necesario para elevar la temperatura del agua que acompaña a la carga a la salida del secador, de 20 a 60°C :

$$Q = 150 \text{ g} \times 1 \text{ cal/g}^\circ\text{C} \times (60-20)^\circ\text{C} = 0.006 \times 10^6 \text{ cal}.$$

Calor necesario para llevar el agua evaporada de la temperatura de evaporación, que generalmente es la temperatura de bulbo húmedo del aire, que en este caso es de 42.2°C .

Cantidad de agua evaporada :

$$\text{Peso de agua de humedad} : 30.15 (1/1-0.1 - 1) = 3.35 \text{ kg}.$$

$$\text{Peso del agua a la salida del secador} = 0.15 \text{ kg}.$$

$$\text{por lo tanto} : \text{Peso agua evaporada} = 3.35-0.15 = 3.2 \text{ kg}.$$

$$Q = 3200 \text{ g} \times 1 \text{ cal/g}^\circ\text{C} \times (42.2 - 20)^\circ\text{C} = 0.071 \times 10^6 \text{ cal}.$$

Calor necesario para evaporar el agua a 42.2°C :

$$\text{Calor latente de evaporación} = 1,109 \text{ BTU/lb}$$

$$Q = 3200 \text{ g} \times 1109 \text{ BTU/lb} \times 252/454 = 1.97 \times 10^6 \text{ cal}.$$

Calor cedido por enfriamiento del vapor, de la temperatura de evaporación a la salida del aire. En estos equipos es común una temperatura de 30°C .

$$Q = 3200 \times 0.25 \times (42.2 - 30)^\circ\text{C} = 0.0098 \times 10^6 \text{ cal}.$$

Calor para calentar el refractario de los carros:

Los carros se mueven dentro del túnel a una velocidad de 0.38 carros/h y el peso de los refractarios es de 144 kg/carro :

$$Q = 0.38c/h \times 144kg/c \times 10^3g/kg \times 0.198 \text{ cal}/g^{\circ}C \times (60-20)^{\circ}C=$$

$$Q = 0.434 \times 10^6 \text{ cal.}$$

Calor perdido por conducción en las paredes :

Las pérdidas por conducción en el secador, se pueden calcular por la siguiente ecuación :

$$Q = k S T$$

donde : k = factor de conducción térmica de la pared.

S = área de transmisión de calor.

T = diferencia de temperaturas entre pared interna y externa.

Para calcular la superficie de transmisión de calor, es necesario dimensionar el secador. La velocidad de los carros dentro del secador es la misma (0.38c/h) que la del horno, y su longitud será igual (9.10 m) esto se hace para no alterar el ciclo de quemado.

El volumen del secador esta determinado por el volumen de la carga y el de los espacios entre los artículos (fig. 3) para la circulación del aire, cada bujía tiene un volumen de ---- 0.000904 m³ pero es necesario considerar el vol. de agua que lleva : (fig. 10)

$$\text{Volumen de la Carga} = 3600/24 \times 24 \times 0.000904 \times 1.1 = 3.58m^3$$

Tomando en cuenta el 40% del volumen de la carga para circulación de aire, se tiene :

$$V_s = 3.58 \times 1.40 = 5.01 m^3$$

$$\text{Sección del secador : } S_s = 5.01 / 9.10 = 0.55 m^2$$

Puesto que la sección del secador debe tener una altura de - .90 m, que es la altura del carro, su ancho será :

$$\text{ancho} = S/h = .55 / .90 = 0.60 m$$

Corte del Secador.

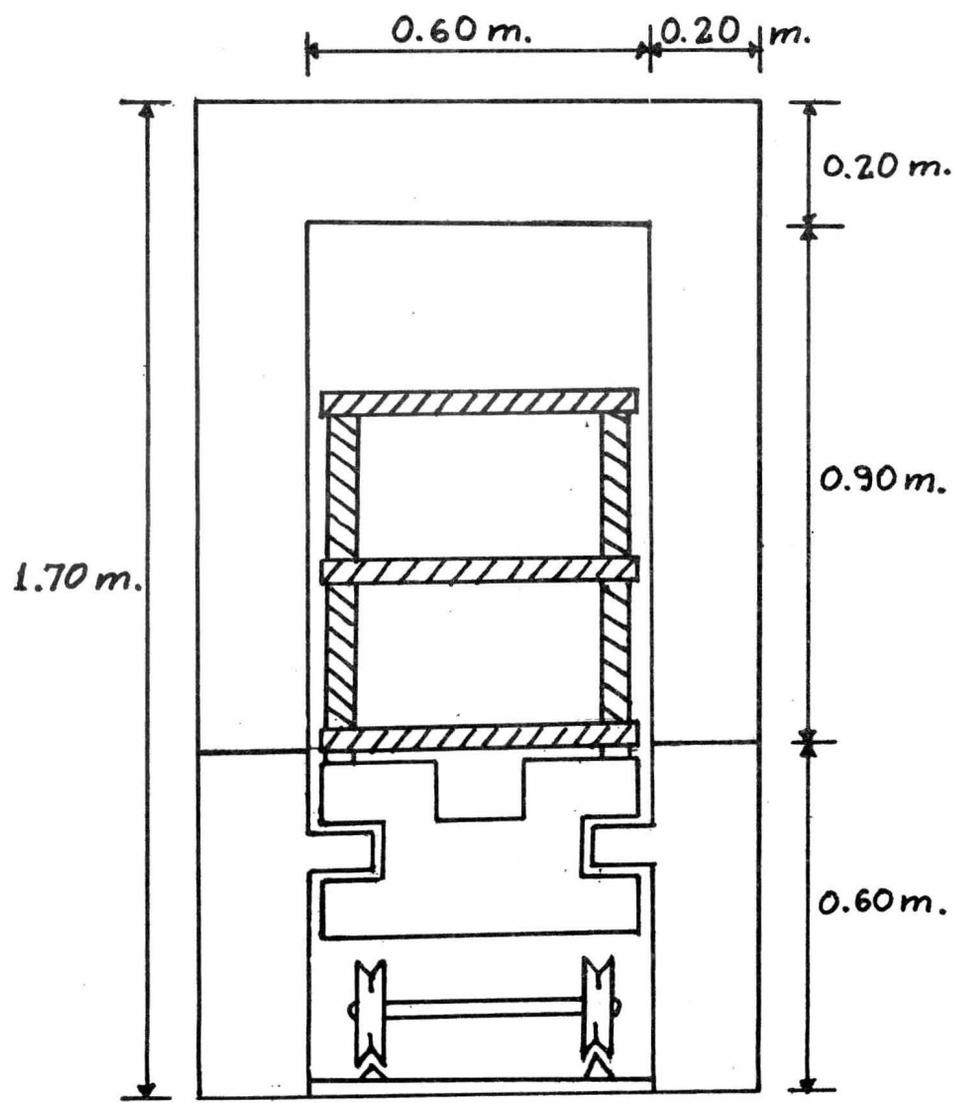


Fig. N. 10

Por lo cual, la superficie de las paredes y techo del secador será :

$$S = (2(9.10 \times 0.90) + 1(9.10 \times 0.60)) = 22.07 \text{ m}^2$$

Las paredes del secador se construyen con un espesor de 20 cm de ladrillo aislante cuyo factor k es de 0.15 kcal/h m²°C/m.

Temperatura interior de la pared :

$$T_i = \frac{(t_2 + T_2)/2 + (t_1 + T_1)/2}{2}$$

En donde los números 1 y 2 indican los extremos de entrada y salida del secador respectivamente y las literales t y T indican la temperatura del aire y la carga respectivamente.

De donde $T_i = 78.5^\circ\text{C}$

En consecuencia el calor perdido por conducción es:

$$Q = 0.15 \times 22.07 \times (78.5 - 17) / 0.2 = 0.96 \times 10^6 \text{ cal}$$

Requisitos de Calor para el Secado :

1° Calentamiento de la carga	=	0.22×10^6	cal
2° Calentamiento humedad residual	=	0.006×10^6	cal
3° Calentamiento agua evaporada	=	0.071×10^6	cal
4° Evaporación del agua	=	1.97×10^6	cal
5° Calentamiento Refractario Carro	=	0.434×10^6	cal
6° Pérdidas por conducción paredes	=	0.96×10^6	cal
7° Calor cedido por el agua	=	0.009×10^6	cal
Total	=	3.61×10^6	cal

Cálculo de la cantidad de aire necesario para el secado:

$$Q = G C_p T = 3.61 \times 10^6 = G \times 7.598 \times (204 - 30)^\circ\text{C}$$

de donde $G = 2,729.3 \text{ g mol aire}$

Volumen de aire para el secado a las condiciones de entrada:

$$V = 0.0224 \times 453/273 \times 760/586 \times 2729.3 = 131.8 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{y a las condiciones de } 17^\circ\text{C y } 586 \text{ mm Hg} = 84.6 \text{ m}^3/\text{h}$$

Las necesidades de aire para el secado y la zona de quemadores están ampliamente satisfechas por el aire proveniente de la zona de enfriamiento del horno :

Aire para el Secado (condiciones de 17°C y 586mm Hg) =
= $84.6 \text{ m}^3/\text{h}$

Aire para los Quemadores = $247.44 \text{ m}^3/\text{h}$

Total Aire necesario = $332.04 \text{ m}^3/\text{h}$

Aire usado en la zona de enfriamiento = $350.9 \text{ m}^3/\text{h}$

Con lo cual se ve que el aire si es suficiente.

CAPITULO VII

ESTUDIO ECONOMICO

La valorización detallada de una industria dentro de la fase de anteproyecto, no puede ser evaluada con precisión, pero si es aceptable como para tomar la decisión minimizando el riesgo de fracaso, ya que para esto se deben tomar en cuenta una serie de factores que solo pueden ser apreciados y valorados cuando ya dicha industria esté operando.

En observación a lo anterior, en este capítulo se hará tan solo un balance preliminar de costos para el presente proyecto, dicho balance se puede dividir en :

- INVERSION FIJA :
1. Terrenos
 2. Edificios
 3. Equipo
 4. Instalación
 5. Mobiliario
- COSTOS FIJOS :
1. Depreciación
 2. Amortización
 3. Mantenimiento
 4. Seguros
 5. Mano de Obra
 6. Gastos Administrativos
- COSTOS OPERACION :
1. Materia Prima
 2. Empaques y Envases
 3. Gastos Distribución
 4. Servicios.
 5. Gastos Ventas.

CAPITAL DE TRABAJO.

Inversión Fija :

1. Terrenos. El terreno empleado para el presente proyecto es tá integrado por las siguientes áreas:

Area almacenamiento Materia Prima	=	100 m ²
Area para el Equipo de Proceso	=	300 m ²
Area para el Equipo de Envase	=	50 m ²
Area para Servicios	=	400 m ²
Area Almacén Producto Terminado	=	150 m ²
		1000 m ²
Más un 30% para circulación del area		300 m ²
		1300 m ²
Area Edificio de Administración		200 m ²
Area Zonas de Carga y Descarga		200 m ²
		200 m ²
Area Total para el Proyecto	=	1,700 m ²

Considerando a \$600.00 el m² de terreno, se tiene por este concepto un costo de : \$ 1'020,000.00

2. Edificios. Considerando a \$1,000.00 el m² cubierto para el área de la planta y a \$1,600 el m² cubierto para el edificio administrativo, se tiene un costo de :

Edificio Planta ;	\$ 1'000,000.00
Edificio Administrativo (2 Plantas)	640,000.00
	\$ 1'640,000.00

3. Equipo :

2 Basculas	\$ 18,000.00
2 Mezcladoras 1HP	22,000.00 (Cap. 50kg/h C/U)
2 Prensas Hidráulicas	50,000.00
1 Trituradora 1HP	20,000.00 (Cap. 50 kg/h)
1 Molino Bolas 1HP	32,000.00 (Cap. 50 kg/h)

Almacén de
Materia
Prima.

Edificio de
Administración.

Almacén de
Producto
Terminado.

Zona de Carga
y Descarga.

Equipo de
Envase.

Equipo de
Proceso.

Servicios.

Fig. N. 11

1 Criba Automática 1HP 50Kg/h	\$ 15,000.00
1 Pulidora 1HP	8,000.00
Sistema Horno-Secador	400,000.00
Instalación de Gas	200,000.00
Equipo Laboratorio	<u>25,000.00</u>

Costo Total del Equipo = \$ 791,000.00

4. Instalación.

20% del costo del Equipo \$ 158,200.00

TOTAL Equipo Instalado = \$ 949,200.00

5. Mobiliario.

30% costo construcción edificio admon. 200,000.00

Costo Físico de la Planta = \$ 3'809,200.00

Ingeniería; 10% C.Físico Planta 380,920.00

Costo Directo Planta = \$ 4'190,120.00

Contingencias 20% c. Dir. Planta 838,020.00

INVERSION FIJA = \$ 5'028,140.00

Costos Fijos :

1. Amortización :	valor	costo anual
Ingeniería (20 años)	\$ 380,920.00	\$ 19,046.00

2. Depreciación:

Edificios (33 años)	1'640,000.00	49,697.00
---------------------	--------------	-----------

Equipo (10 años)	949,200.00	94,920.00
------------------	------------	-----------

Total Depreciación		<u>\$ 144,617.00</u>
--------------------	--	----------------------

3. Mantenimiento :

15% anual del valor del equipo sin instalar \$ 118,550.00

Para 85 Ton/año :

Se requiere aumentar solo el número de ayudantes en mezcladora y prensa, así como un operario en empaque-almacén.

2 ayudantes	\$125.00 /día	\$ 97,500.00
1 operario	\$175.00/día	68,250.00
Base de 65 Ton/año		1'540,500.00

Total **\$ 1'706,250.00**

Para 110 Ton/año : se requiere aumentar un turno en báscula, mezcladora, prensa, acabado y almacén, dando :

6 Ayudantes a	\$ 125.00 /día	750	\$ 292,500.00
6 Operarios a	\$ 175.00 /día	1050	409,500.00
Base de 65 Ton/año			1'540,500.00

Total **\$ 2'242,500.00**

Supervisión :

Personal	Turnos	No.	\$/mes	\$/año
Gerente Palnta	1	1	12,000	\$ 156,000.00
Secretaría	1	1	5,000	65,000.00
Laboratoristas	3	3	8,000	312,000.00
Jefe Turno	3	3	8,000	312,000.00
Eléctrico	1	1	5,000	65,000.00
Mecánico	1	1	5,000	65,000.00
Velador	1	1	3,500	45,500.00
Total				\$ 1'020,500.00

Personal Administrativo :

Gte. Gral.	1	18,000	234,000.00
Secretaría Ejec.	1	7,000	91,000.00
Contador	1	10,000	130,000.00
Comprador	1	8,000	104,000.00

			64.
Gte. Ventas	1	10,000	130,000.00
Secretaria	2	5,000	130,000.00
		Total	<u>\$ 819,000.00</u>
Total Costo Mano de Obra Indirecta			\$ 1'839,500.00

6. Gastos Administrativos :

20 % del Salario Personal Admon. \$ 163,800.00

COSTOS FIJOS PARA :	65 ton/año	85 ton/año	110 <u>ton</u> <u>año</u>
TOTAL :	\$ 3'869,294.00	\$ 4'035,044.00	\$ 4'571,294

Costos Operación :

Se toman los tres límites para este cálculo.

1. Materia Prima :

Materia Prima	Precio \$/kg	65	85	110	65	85	110
Cuarzo	0.96	37140	48569	62854	/35654	46626	60340
Vidrio	0.63	27860	36431	47641	/17551	22951	29702
Licor Sulfito	2.25lt	5570lt	7280	9428	/12532	16380	21213

Total Materia Prima ; \$ 65,738.7 / \$85,957.7 / \$111,255.0

2. Empaque y Envase:

	65	85	110
2\$/Kg de Producto terminado :	\$ 130,000.0	\$170,000.0	\$220,000.0

3. Energía Eléctrica :

Equipo	Horas/día			HP/día		
	65	85	110	65	85	110
2 Mezcladoras 1HP	4	5	7	8	10	14
Motor Tritur. 1 HP	4	5	7	4	5	7
Motor Molino 1½HP	4	5	7	6	7½	10½

Motor Criba 1HP	4	5	7	4	5	7
Motor Pulidora 1HP	8	11	14	8	11	14
Horno-Secador 5HP	24	24	24	120	120	120
Total HP-día				150	158.5	172.5
1Kw = 1.3040 HP	Kw/día	=		115	121.5	132.5
1 año = 360 días	Kw/año	=		41400	43740	47622
Costo Kw = 0.50\$/Kw	\$/año	=		20700	21870	23811

GAS ; $14.84 \text{ m}^3/\text{h} \times 24\text{h}/\text{día} \times 360 \text{ día}/\text{año} = 128,260 \text{ m}^3/\text{año}$

costo gas = $0.18\$/\text{m}^3 \times 128,260 \text{ m}^3/\text{año} = \$ 23,086.70$

AGUA: $360 \text{ d}/\text{año} \times 25\text{m}^3/\text{día} = 9,000 \text{ m}^3$

Costo agua = $1.25 \$/\text{m}^3 \times 9000 \text{ m}^3 = \$ 10,800.00$

5. Gastos Distribución :	65	85	110
1% sobre ventas.	\$ 65,000	85,000	110,000
6. Gastos de Ventas :			
3% sobre ventas	195,000	255,000	330,000
COSTOS OPERACION PARA :	65	85	110
TOTAL :	\$ 250,325.40	651,714.45	828,453.00

Capital de Trabajo :	Precio por Kg		
			\$100.00
Inventario Materia prima	65	85	110
2 meses	10,956.45	14,492.80	18,542.50
Inventario Prod. Term.	270,833.30	354,166.70	458,333.30
$\frac{1}{2}$ mes			
Inventario Refacciones	44,602.50	44,602.50	44,602.50
3% valor Planta			
Cuentas por Cobrar	541,666.70	708,333.30	916,606.70
1 mes			

Cuentas por Pagar 1 mes	5,478.50	7,246.40	9,271.25
Subtotal	862,587.45	1'114,348.00	1'428,873.75
Efectivo Mínimo de Operación. (1 sem. desemb. prom)	71,616.00	77,149.30	89,419.00
CAPITAL TRABAJO	\$ 934,203.45	\$ 1'191,497.30	\$ 1'518,292.75

MODELO DE RESULTADOS :

CAPACIDAD	65	85	110
Inversión Fija	5'028,140.00	5'028,140.00	5'028,140.00
Capital Trabajo	934,203.45	1'191,497.30	1'518,292.75
Inversión Total	5'962,343.45	6'219,637.30	6'546,432.75
Ventas Netas Total	6'500,000.00	8'500,000.00	11'000,000.00
- Costos Fijos	3'869,294.00	4'035,044.00	4'571,294.00
- Costos Operación	510,325.40	651,714.45	828,453.00
Utilidad antes Imp.	2'120,410.60	3'813,241.55	5'600,253.00
-Rep.Util. 8%	169,632.85	305,059.32	448,020.24
-Imp. S.Renta 42%	890,572.45	1'601,561.45	2'352,106.26
UTILIDAD NETA	1'060,205.30	1'906,620.78	2'800,126.50
% Rentabilidad = UN/IT	18	31	43

UN= Utilidad neta

IT= Inversión total

CAPITULO VIII

CONCLUSIONES

Dentro de este estudio se pretende señalar los procesos más generales de filtros cerámicos, y se puede observar que es posible su elaboración en México, por su facilidad de obtención de materias primas, **mano** de obra y servicios dentro del país. También es notoria la posibilidad de obtención e instalación del equipo por lo poco sofisticado que es. De manera que pueden ser controlados los factores físicos y químicos - que se presentan en las diferentes etapas del proceso.

El estudio **teórico** presenta un panorama atractivo, puesto que es posible obtener artículos de muy alta calidad, empleando en su elaboración un proceso sencillo con el equipo adecuado que a la vez de eficiente es económico. Junto a esto - se puede tomar en cuenta el bajo precio de la materia prima con buena calidad y el alto precio del producto terminado en el mercado.

La instalación de la planta en México evitaría una fuga de divisas del país y tomando en cuenta la rentabilidad que se obtuvo en el estudio económico, es aconsejable que se lleve a cabo el proyecto.

BIBLIOGRAFIA

1. Anuario General de Importaciones
Secretaría de Industria y Comercio.
Años 65 a 74 .
2. Aries R S. and Newton P.D.
Chemical Engineering Cost. Estimation.
McGraw Hill Book Company, Inc. N.Y.
1955 .
3. Billigmann, Joseph.
Estampado y prensado a máquina.
Ed. Reverté, 1956.
4. Ceramic Data Book. 1969
Cahners Pub. Comp.
5. Chilton, Cecil Hamilton. 1918.
Chemical Engineerman.
Cost engineering in the process industries.
Ed. McGraw Hill 1960 N.Y.
6. Kern D.Q.
Procesos de Transferencia de Calor
Ed. Continental. 1973
7. Kneulle Friederich
El Secado
E. Chueca Bilbao Urmo 1966
8. Mc Cabe W.L. and Smith S.C.
Unit Operations of Chemical Engineering
Ed. Reverté 1972
9. North American Combustion Handbook
North American Manufacturing Co.
Cleveland, Ohio. 1965.

10. Norton F.H.
Elements of Ceramics
Addison Wesley Pub. Co. Inc. 1957.
11. N.P. Waganoff.
Hornos Industriales.
Ed. Lib. Mitre 1963.
12. Perry J.H.
Chemical Engineer's Handbook
McGraw Hill 1963.
13. Rhodes Daniel.
Kilns Design, Construction, and Operation.
1968.
14. Salmang H.
Los Fundamentos de la Cerámica.
Reverté, España. 1954.
15. Singer F. and Singer A.
Industrial Ceramics.
Chem. Pub. Ind. N.Y. 1963
16. Sterbacek, Zdenek
Mixing in the Chemical Industry
Oxford, Pergamon Press. 1965
17. Trinks Willibald
Industrial Furnaces
1955
18. Williams - Garder Aelwyn. 1971
Industrial drying.
CBS (International Scientific Series)