

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA

**DISEÑO DE UN HORNO INTERMITENTE PARA
FABRICAR OBJETOS DE ALFARERIA**



TESIS
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
QUIMICO METALURGICO

PRESENTA

ARMANDO VALDEZ TAMEZ

1974



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.

1974
328
332
329



QUINCA

Jurado asignado:

PRESIDENTE: LIBERTO DE PABLO GALAN
VOCAL: ALBERTO OBREGON PEREZ
SECRETARIO: RENAN PEREZ PRIEGO
1er. SUPLENTE: JOSE CAMPOS CAUDILLO
2o. SUPLENTE: JULIO F. LARA HIDALGO

Sitio donde se desarrollo el tema: CENTRO DE INVESTIGACION DE
MATERIALES (U.N.A.M.)

El sustentante: ARMANDO VALDEZ TAMEZ

El asesor del tema: Prof. DARIO RENAN PEREZ P.

Indice

Introducción	-----	1
Capítulo I		
(Criterios que influyen en el diseño de un horno)		
1- Combustibles	-----	7
2- Refractarios	-----	13
3- Medición de temperatura	-----	22
capítulo II		
(Diseño)		
1- Descripción de sus partes	-----	32
2- Material necesario	-----	48
3- Costos	-----	51
4- Consumo de combustible	-----	51
5- Operación	-----	64
Conclusiones	-----	67
Bibliografía	-----	68

INTRODUCCION

Muchas de las técnicas usadas por la mayoría de los alfareros, no han evolucionado lo suficiente desde que fueron introducidas por los misioneros españoles a mediados del siglo XVI. Esta es una de las razones, por las que la calidad de las piezas de cerámica artesanal deja mucho que desear desde el punto de vista técnico; no obstante que la calidad artística de los mismos, es ampliamente reconocida.

Este atraso en las técnicas de producción alfarera trae como consecuencia varios problemas; esquema No. 1:

a) Poca variedad de productos.

A pesar de la amplia gama de artículos cerámicos tales como abrasivos, vidrio, materiales de construcción, aislantes eléctricos, refractarios, etc. Los alfareros solo producen loza de mesa, tejas, ladrillos, y algunos artículos de ornato principalmente.

b) Desforestación de las zonas vecinas a las regiones alfareras.

El combustible mas utilizado por los artesanos es la leña. Por esta razon la desforestación es un problema grave ya que los bosques cercanos son talados.

c) Baja calidad de las piezas.

Debido a defectos tales como: agrietamientos tanto en la pasta cerámica como en el esmalte, porosidad, superficies ásperas, escurrimiento del esmalte y burbujas, la calidad de los artículos alfareros se ve seriamente afectada.

d) Productos perjudiciales desde el punto de vista de la salud.

Ya que utilizan en la mayoría de los casos un esmalte vitreo

ESQUEMA No. 1

SITUACION ACTUAL DE LA ALFARERIA NACIONAL

METODOS PRIMITIVOS Y ALEJADOS DE LA TECNOLOGIA MODERNA

(a)
POCA

VARIEDAD

(b)
DESFORESTACION

LOCAL

(c)
BAJA

CALIDAD

(d)
TOXICIDAD

(e)
BAJOS

INGRESOS

(f)
VENTA DE PRODUCTOS

CON PERDIDA

(g)
PRODUCTIVIDAD

ESCASA

(2)
ECONOMICO

MERCADO
NACIONAL

MERCADO
INTERNACIONAL

(1)
SALUD

USUARIOS

ALFAREROS

con compuestos de plomo, el cual es atacado químicamente por ácidos débiles como acético y cítrico presentes en los alimentos, cuando son almacenados o preparados en estos recipientes. Ya que el plomo y sus compuestos son tóxicos, esto representa un riesgo para la salud.

e) Escasos ingresos.

La posición del alfarero frente al mercado es desventajosa, -- entre otras cosas, por la presencia de acaparadores e intermedia-- rios y además de que sus productos no compiten en calidad y diseños con los productos industriales.

f) Venta de productos con déficit.

Los alfareros no conocen en general como calcular sus costos -- de producción, ya que no toman en cuenta, la mano de obra de miem-- bros de su familia que colaboran con el, ni el combustible y mate-- rias primas que en muchos casos obtiene en las cercanías sin tener que recurrir a proveedores, además de otros factores que intervie-- nen en el costo final de las piezas.

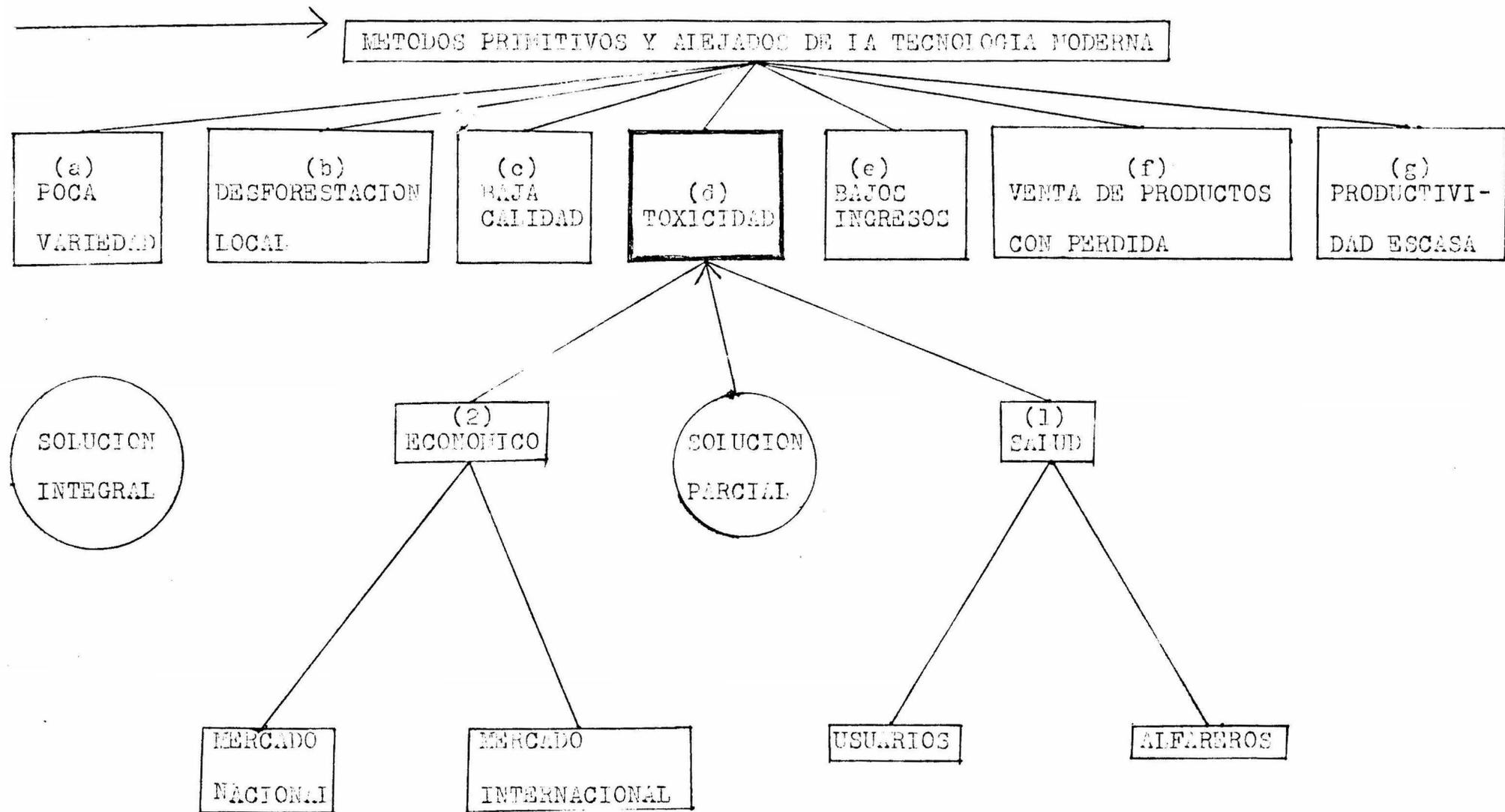
g) Baja productividad.

Como consecuencia de un equipo insuficiente y métodos primiti-- vos, el número de piezas producidas es muy pequeño, sobre todo com-- parado con los métodos industriales o serindustriales.

En el problema de la toxicidad, esquema No. 2 (d), se presen-- tan dos aspectos principales:

1) Problema de salud: La salud de los alfareros se ve seria-- mente afectada debido a que trabajan con compuestos de plomo sin -- reglas de higiene. Un estudio realizado por la S.S.A. demostró que un gran número de estos artesanos padecen saturnismo (1).

ESQUEMA No. 2



Por otro lado los usuarios de estos productos están expuestos a intoxicación por las razones expuestas en el esquema No. 2 (d), -- y como lo demuestran algunos artículos publicados sobre este problema (2).

2) Problema económico: En febrero de 1970 el gobierno de los E.U.A. prohibió la importación de vajillas y artículos de mesa vidriados. Si se toma en cuenta que el valor estimado de estas exportaciones es de 100 millones de pesos anuales, esto afecta seriamente a esta actividad artesanal (3).

Cualquier acción para atacar el problema de toxicidad representa solo una solución parcial, como se indica en el cuadro. Cualquiera de los otros problemas puede ramificarse en igual forma que el anterior. Por esta razón es necesario que la solución para que sea integral debe enfocarse a otro nivel. En el cuadro puede verse que la raíz se encuentra en los métodos primitivos de producción -- y es aquí donde puede plantearse la solución completa.

Uno de los puntos fundamentales para lograr este objetivo consiste en el empleo de hornos adecuados.

El propósito de esta tesis es el diseño de un horno para la alfarería de las siguientes características.

Dos cámaras. La primera de cocimiento para temperaturas de 1300°C y la segunda que aprovecha el calor sensible de los gases de combustión de la primera, para operar a 500°C , lo que permitirá sancochar las piezas mientras en la primera cámara se realiza la cocción.

El recuperador de calor. Tiene la finalidad de aprovechar el calor desprendido por los gases de combustión, que de otra forma se perdería.

Los detalles y pormenores se describirán en el capítulo II ---

Nota: Este diseño se tomó como base en la construcción de un
horno piloto en el Centro de Investigación de Materiales de la ----
U . N . A . M .

CAPITULO No. 1

(CRITERIOS QUE INFLUYEN EN EL DISEÑO DE UN HORNO)

Al diseñar un horno, además de que deben tenerse en cuenta los siguientes puntos:

- i) Evitar al máximo las fugas de calor.
- ii) La obtención de productos de alta calidad con bajo costo de operación.
- iii) Control de la transmisión de calor.
- iv) Un buen diseño con baja inversión que permita altas temperaturas.

Es necesario tomar en cuenta los siguientes factores:

- 1- Combustibles.
- 2- Refractarios.
- 3- Medición de temperatura.

1- Combustibles:

Se clasifican como se indica en la tabla 1-1:

a) Combustibles sólidos:

En la alfarería mexicana de los combustibles sólidos los únicos que se utilizan son la madera y el carbón vegetal, pues los demás son muy escasos en este territorio, los existentes se utilizan en otros medios y lo que es más, el país tiene la necesidad de importarlos, lo que hace que sean incosteables para la alfarería. El carbón vegetal y la madera son los combustibles más económicos pero presentan el gran inconveniente que desforestan las regiones -

TABLA 1-1

Tipo	Combustibles naturales o primarios	Combustibles manufacturados o secundarios
Sólidos	Carbón bituminoso	
	Antracita	Coque
	Lignito	Carbón vegetal
	Turba	Briquetas
	Madera	
Líquidos	Petróleo	Alquitran de hulla
		Destilados del petróleo
		Residuos del petróleo
		Alcoholes
		Combustibles coloidales
Gaseosos	Gas natural	Gas para alumbrado (gas rico)
		Gas de carbón (gas de horno de coque)
		Gas pobre
		Gas de petróleo
		Gas de alto horno

donde se establece su obtención y tienen un alto porcentaje de cenizas, lo que los hace muy impuros como sucede con otros combustibles sólidos.

b) Combustibles líquidos:

La mayoría de estos se derivan del petróleo, son muy ventajosos por su fácil manejo y almacenamiento.

Es significativo que los petróleos combustibles poseen valores caloríficos más altos que cualesquiera otros combustibles comerciales, ya sea sobre la base de peso o de volumen. Además, al igual que los gases combustibles, carecen de cenizas y son muy flexibles en ajuste a variaciones amplias en los requerimientos de operación.

Estos compiten con el gas y el carbón pulverizado, la clase de petróleo que pueda ser utilizado en una instalación determinada es primordialmente una cuestión de costos y grado de calidad de los productos elaborados.

El petróleo crudo contiene una gran variedad de hidrocarburos, de los cuales solo han sido separados y positivamente identificados, un pequeño número. Se encuentran ampliamente representadas las estructuras de hidrocarburos tanto la de cadena abierta como la cerrada, y en cada grupo hay compuestos con varias relaciones de carbono a hidrógeno.

Los subproductos de petróleo crudo se efectúan mediante destilación fraccionada, dando sus productos de acuerdo a su grado de volatilidad y después son sometidos a otros tratamientos para producir cantidades mayores de hidrocarburos con las propiedades deseables, los primeros productos obtenidos, son los combustibles más puros y por tanto pueden ser utilizados en los hornos en que es necesario que los residuos de combustión no contaminen a los

productos terminados, los últimos combustibles son los de mayor --- densidad y con los mas impuros.

Los combustibles derivados del petróleo tienen todos, sustan-- cialmente el mismo valor calorífico, independientemente de su ori-- gen, pues los de grado mas ligero tienen los valores de calentamiento mas elevados sobre una base de peso, pero en volumen los grados mas pesados tiene los mas altos valores de calentamiento. Los po-- deres caloríficos de los combustibles se dan en B.T.U. por libra o en kilocalorias por litro. Los combustibles pesados son mas bara-- tos y tienen mayor poder calorífico en relación de centavos por unidad de peso.

c) Combustibles gaseosos:

Estos poseen un cierto número de ventajas sobre otros combusti-- bles (mayor limpieza, ausencia de cenizas, facilidad de manejo, buenas características de combustión y buen control) que los conducen al uso mas difundido en cualquier parte que la disponibilidad y los costos lo permitan.

La mayor parte de estos gases son mezclas, consistiendo la ma-- yoria, en distintas proporciones de un pequeño número de constitu-- yentes comunes que se clasifican en combustibles y diluyentes, de - los primeros los mas comunes son: (metano, hidrógeno, monóxido de - carbono, etileno, etano, etc.), de los diluyentes los mas comunes son: (bióxido de carbono, agua y nitrógeno). Además de estos cons-- tituyentes principales, pueden estar presentes pequeños porcentajes de otros compuestos orgánicos volátiles, compuestos de azufre, etc. de esta manera, las propiedades de los gases combustibles comercia-- les dependen primordialmente de las proporciones relativas de los -

constituyentes combustibles, de los diluyentes y de la naturaleza de los compuestos combustibles. En la tabla 1-2 se presentan las composiciones de los gases combustibles mas comunes.

Los combustibles gaseosos además de caracterizarse por la relación entre constituyentes combustibles y diluyentes, lo hacen por el poder calorífico de los compuestos combustibles, de acuerdo a esto, los combustibles gaseosos se clasifican en pobres y ricos. Los primeros, el rendimiento calorífico es muy bajo, pues además de que tienen compuestos combustibles en poca cantidad y poder calorífico, presentan la desventaja de los constituyentes que absorben parte del calor generado por la combustión. Es evidente que se deben suministrar y quemar grandes volúmenes de gas, para reunir un requerimiento en kilocalorías determinado, y así el costo por manejo y distribución se eleva rápidamente por la disminución en fuerza calorífica. Por consiguiente, los gases de grado bajo, tales como el gas de alto horno y el gas de gasógeno, se queman muy cerca del punto de su fabricación, como regla general dentro de la misma planta. Los gases ricos, se caracterizan por su alto contenido de constituyentes combustibles, entre ellos se encuentran en primer término, los gases naturales y en segundo, el gas de horno de coquización y gases enriquecidos.

La cantidad de oxígeno o de aire que necesita un gas combustible para que se efectúe una combustión completa, esta en relación directa con la cantidad y calidad de los constituyentes combustibles, de tal modo que los gases combustibles ricos necesitan -----

TABLA 1-2

ANÁLISIS DE LOS GASES COMBUSTIBLES TÍPICOS

	% en volumen							
	H ₂	CO	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄ E ilu- mi-- nan- tes	N ₂	CO ₂	O ₂
Gas de alto horno	3.7	26.3	0.0	0.0	0.0	57.1	12.9	0.0
Gas de carbón	48.5	7.4	32.2	1.0	5.6	2.3	2.2	0.8
Gas de horno de coquizar	57.0	5.9	29.7	1.1	3.4	0.7	1.5	0.0
Gases de agua de carbón	52.8	32.7	3.1	0.2	0.2	6.8	4.5	0.3
de coque	49.7	39.8	1.3	0.1	0.0	5.5	3.4	0.2
Gas de petróleo	50.8	10.2	27.6	0.0	3.5	5.1	2.6	0.2
Gas natural	0.0	0.0	84.5	11.5	0.0	3.8	0.2	0.0
Gas natural	0.0	0.0	94.5	0.5	0.5	4.0	0.2	0.3

" Según Camp, J. M., y Francis, C.B., The Making, and Treating --
of Steel.

mayor aire u oxígeno que los gases pobres. En la tabla 1-3 se dan las cantidades de oxígeno o aire necesarios para lograr una combustión completa, y además sus poderes caloríficos de los compuestos combustibles.

El uso del gas natural en la alfarería es la solución ideal - en la combustión y unicamente tiene el inconveniente que para utilizar dicho gas es necesario tener la industria enclavada en las zonas de distribución de gas natural. Las ventajas que tiene son: está exento de azufre, arde con llama vigorosa y homogénea, distribuye el calor mas ampliamente que cualquier otro tipo de combustible, por lo cual es mas fácil evitar recalentamientos locales, - la naturaleza de gas, permite que la combustión sea tan regulada - que no son de temer coloraciones o manchas en los productos cocidos, no requiere precalentamiento previo, no necesita aditivos y - por último, presenta la ventaja que siempre que se utilice el gas y el equipo de combustión debidamente, la llama del gas natural es de gran intensidad, proporcionando una distribución de calor uniforme y amplia.

2- Refractarios:

Son materiales capaces de soportar altas temperaturas de trabajo, y a la vez reducen las pérdidas de calor.

a) Formas de refractarios:

Obtenidas las materias primas se muelen, se trituran, se clasifican, luego se mezclan con otros materiales como se desee y se embarcan al consumidor para su uso, o se fabrican en diferentes formas.

TABLA 1-3

PROPIEDADES DE LOS GASES DE COMBUSTION PUROS

Gas	Volúmenes de O ₂ requeridos por volumen de combustible	Volúmenes de gas del tragante por volumen de combustible, usando aire - teórico	Poder calorífico neto Kcal/M ³
Hidrógeno (H ₂)	0.5	2.88	2582
Monóxido de carbono (CO)	0.5	2.88	3034
Metano (CH ₄)	2.0	10.52	8560
Propano (C ₃ H ₈)	5.0	25.8	21650
Etano (C ₂ H ₆)	3.5	18.6	15110
Etileno (C ₂ H ₄)	3.0	15.28	14480
Acetileno (C ₂ H ₂)	2.5	12.4	13440

"Según Camp, J. M., y Francis, C. B. , The Making, and Treating of Steel."

La mayoría de los hornos alfareros de alta eficiencia, se ---
construyen o se revisten con formas prefabricadas. Tales ladri---
llos se obtienen comercialmente en una amplia variedad de tamaños
y formas que varían desde bloques cuadrados a dovelas círculo, ---
punta y canto.

Las formas de que se dispone incluyen las prefabricadas, re--
cubrimientos, morteros, mezclas plásticas y colables. El uso de -
estos tipos de refractarios en la construcción de hornos varía se-
gún sean sus necesidades.

Morteros:

Se usan generalmente en la construcción de ladrillos refracta
rios, su aplicación es la de ligar o pegar el trabajo para formar
una unidad sólida al quemarse o cocerse y proporcione un cojín ---
entre las superficies irregulares de los ladrillos. Además tiene
como objeto el sellar las juntas en la construcción de un horno.
Uno de los mejores morteros es una combinación de arcilla plástica
con un volumen constante de otra calcinada.

Refractarios plásticos:

Se usan a veces en lugar de construir ladrillos. Su uso más
general es el parchado de hornos. Sus mezclas plásticas para ----
muchos usos es la arcilla refractaria con un porcentaje suficiente
elevado de arcilla calcinada para impedir una contracción aprecia-
ble durante el secado. También se emplean mezclas de magnesita --
calcinada con un aglomerante orgánico, pero presentan la desventa-
ja de no ser adecuados para los hornos alfareros por sus altas ---
expansiones térmicas y solo se usan para casos especiales.

Refractarios colables:

Son mezclas de arcilla calcinada con cemento de alto contenido de alúmina y barro. A estos refractarios se les adicionan materias orgánicas para darle mejores propiedades aislantes. Estos concretos solamente son útiles a temperaturas bajas, por tanto, su uso es muy limitado.

b) Materias primas:

Los materiales útiles para la fabricación de refractarios por lo general se obtienen de yacimientos de pureza razonablemente elevada, ya que casi no se emplea una purificación química. Las materias primas más usadas se obtienen de minerales altos en sílice (cuarcitas), de sílice y alúmina (arcillas refractarias y otras), de magnesita en forma calcinada, de minerales de cromo, minerales de zircon etc.

Para casos muy especiales algunos refractarios se producen químicamente a partir de sus elementos, por ejemplo, el carburo de silicio se produce por la reacción a alta temperatura de sílice con carbon. También se pueden producir estos refractarios de compuestos esencialmente puros mediante métodos fisicoquímicos, como es el caso de los super-refractarios de torio y berilio, Estos refractarios son excesivamente caros y no están al alcance del alfarero.

c) Clasificación de acuerdo a su composición química:

Se clasifican en ácidos, básicos y neutros. Los refractarios ácidos no se deben usar con los básicos pues se efectúan reacciones que los pueden destruir.

Refractarios ácidos:

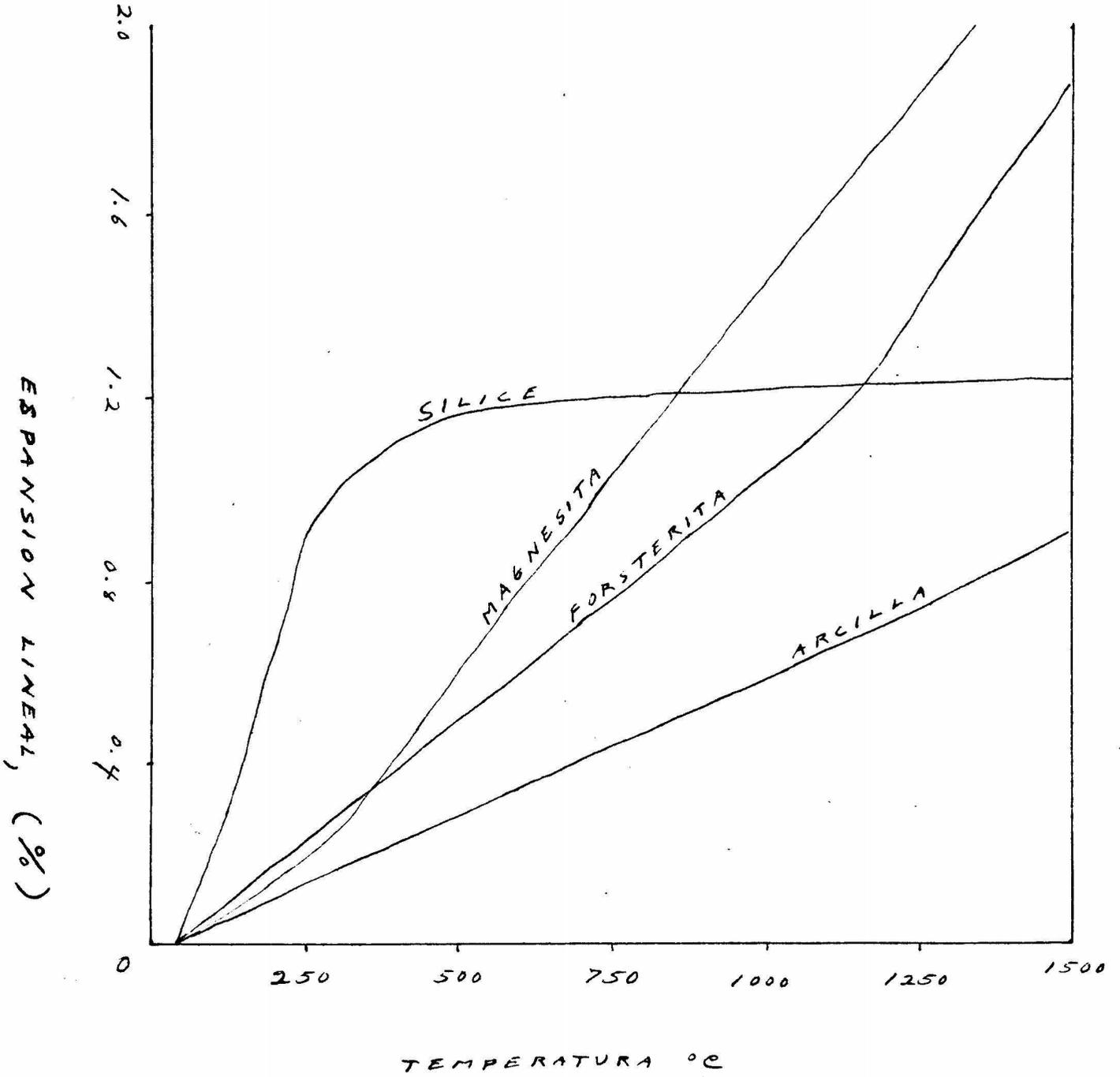
Sus características son que están formados por óxidos metalo-

ides tales como el SiO_2 y el P_2O_5 . El silicio después del oxígeno, es el elemento mas abundante en la corteza terrestre, se encuentra en diferentes minerales, como SiO_2 en el cuarzo, y en menor proporción en arcillas que contienen además de este, aluminio y oxígeno. Todos estos materiales se moldean facilmente para tomar formas apropiadas que posean una refractabilidad adecuada para la mayoría de los usos a temperaturas elevadas. Estos refractarios, no se deben usar en el tratamiento de materiales altamente básicos, pues reduciríamos notablemente la vida útil del horno.

Los refractarios de sílice puros, no son adecuados para la alfarería por sus altas expansiones térmicas a bajas temperaturas, Fig. 1-2, y si se usaran este tipo de ladrillos, debe tenerse mucho cuidado al calentarlos o enfriarlos a temperaturas abajo de 310 grados centígrados. Estos refractarios son muy adecuados para soportar altas temperaturas y carga. Estan constituidos principalmente por un 95% de SiO_2 , el resto lo forman otros materiales que le dan mayor adherencia. Cuando se desean refractarios con alta capacidad para soportar altas temperaturas se debe evitar utilizar alúmina, pues esta, reduce el punto de fusión.

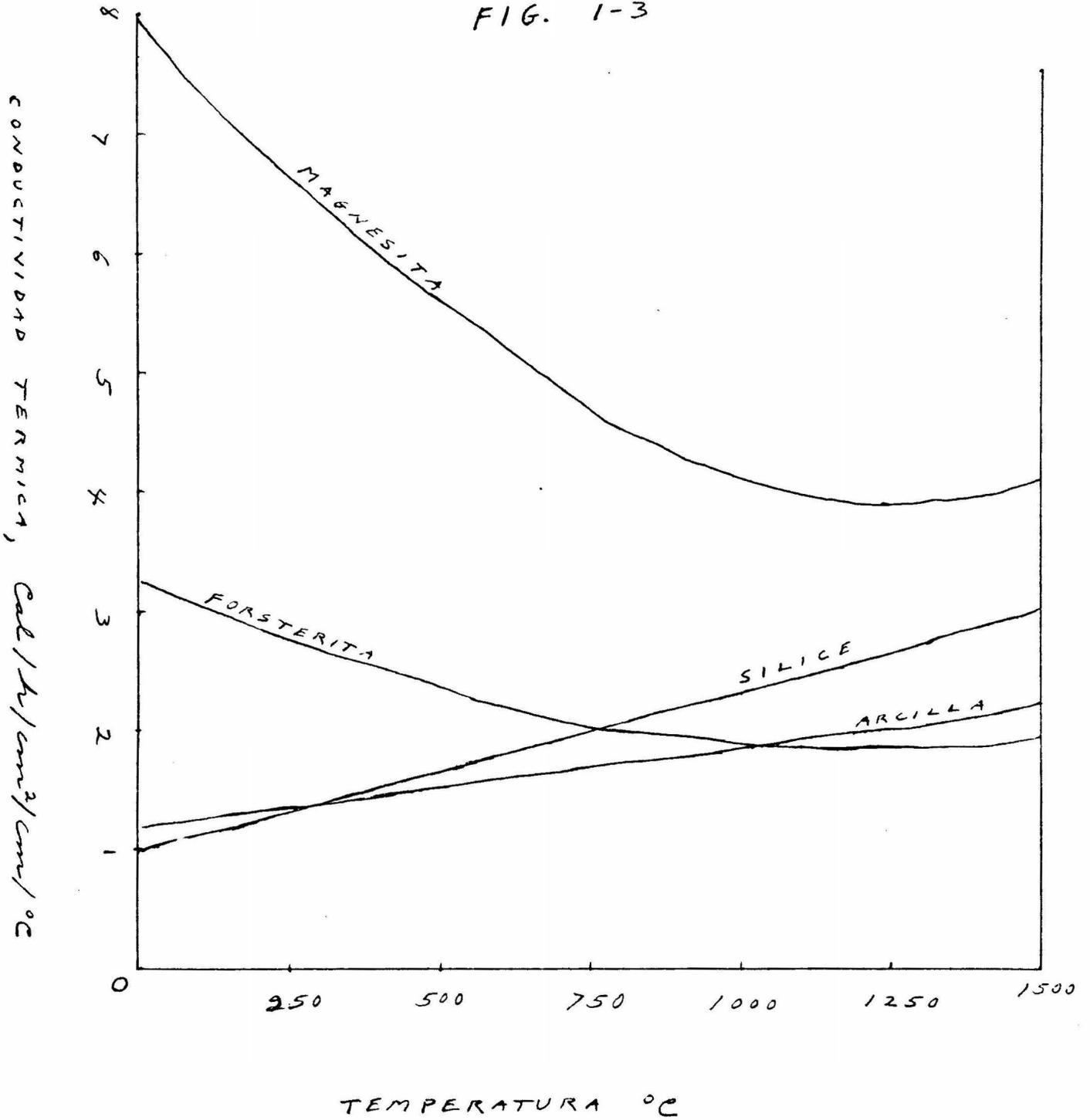
Los refractarios de arcilla, son los mas adecuados para la alfarería por sus cualidades de soportar temperatura, por tener las mas bajas conductibilidades y expansiones térmicas, Fig. 1-2 y 1-3, por ser un materia prima muy barata y abundante, y además se puede utilizar en proporciones muy variables de alta y baja calidad. Las arcillas tienen su origen en las rocas con feldespatos. La acción del sol, la lluvia, el viento, el aire y el agua, a través del tiempo y en la actualidad, han disgregado y reaccionado químicamente con estos minerales formando partículas mas pequeñas que son transportadas por inundaciones y depositadas en lagos, ---

FIG. 1-2



EXPANSIONES TERMICAS DE ALGUNOS LADRILLOS REFRACTARIOS NORMALES

FIG. 1-3



CONDUCTIVIDADES TERMICAS DE ALGUNOS LADRILLOS REFRACTARIOS NORMALES

campos, pantanos y lagunas. Estas arcillas en su recorrido pueden purificarse hasta llegar a formar depósitos de caolín de color --- blanco, esta es una de las mejores arcillas, siguiéndole en importancia las arcillas del tipo montmorillonítico, que a pesar de no haber podido eliminar sus impurezas básicas, (K,Na,Ca,etc.), se -- las consideran buenas en proporción a los materiales que haya arras-- trado en su recorrido, de ahí que las arcillas que se encuentran - en el sitio de la roca madre, contienen menos impurezas que las que han sido llevadas lejos del lugar de origen.

Refractarios básicos:

Los refractarios de uso general están constituidos por materia-- les de magnesita, de cromo magnesita, de dolomita y de forsterita. Los minerales básicos que tienen propiedades casi neutrales son el cromo y la cromo magnesita. Comparados con los de sílice y los de arcilla, todos los que tienen propiedades básicas padecen la des-- ventaja de elevadas expansiones térmica, Fig. 1-2, por consiguien-- te, los coeficientes de expansión más elevados de los materiales - básicos se traducen en una mayor tendencia a disgregarse y agrie-- tarse. Estos son los más inadecuados para la alfarería, pues ade-- más de las desventajas anteriores, presentan el inconveniente a -- excepción de la forsterita, de una elevada conductibilidad térmica que se traduce en pérdidas de calor útil.

Refractarios neutros:

Las materias primas más comunes para su fabricación son los - materiales de cromo, de cromo magnesita, coque, grafito natural y grafito artificial hecho en un horno eléctrico.

Los de cromo y de cromo magnesita, además de las propiedades

neutras, tienen otras ligeramente básicas.

En la fabricación de refractarios de carbón se utiliza coque, grafito natural y artificial. Estos refractarios gozan de una vida extremadamente larga cuando las condiciones no son demasiado oxidantes. Sus principales inconvenientes son que no tienen capacidad para soportar altas cargas y además, que su costo no está al alcance de los alfareros.

d) Hechura de refractarios al alcance del alfarero;

Tabiques a "prueba de fuego";

Cuando contamos con arcillas a "prueba de fuego", se mezclan con agua lo suficiente para asegurar una unión completa, se pasa a moldes adecuados, se saca del molde y se seca a la sombra por 2 o 3 días, después se colocan al sol y por último se cuecen. Si al efectuar estas operaciones el refractario se agrieta, se debe usar más tiempo en el secado a la sombra, mezclarse un poco de arena limpia, o una purificación de las arcillas mediante un molido y lavado. Los refractarios a "prueba de fuego" hechos con arcillas comunes que no soporten altas temperaturas, deben mezclarse con arena limpia en una proporción aproximada de partes iguales, en vez de arena, puede usarse cenizas, o combinación de ambas y hacer que el tabique sea más ligero. Los mejores refractarios son los que se pueden hacer con arcillas a "prueba de fuego" y los formados a gran presión.

Ladrillos aislantes:

Las bajas conductibilidades térmicas y las buenas propiedades aislantes se logran primordialmente en materiales de gran y bien distribuida porosidad y baja densidad volumétrica, sin importar mucho la composición química. En la fabricación de estos refrac-

tarios, se debe combinar la baja conductibilidad térmica con la -- capacidad para soportar temperaturas elevadas sin descomposición o cambios estructurales. Se pueden hacer tabiques aislantes de buena calidad si se les añade aserrín, corcho, cenizas o cáscaras de arroz. Se mezclan muy bien, iguales proporciones de polvo de ---- arcilla y aserrín o corcho por último se añade suficiente agua para que la masa se sostenga. Esta mezcla se vierte en el molde, se -- presiona bien y se seca como se ha dicho antes. Las proporciones de arcilla y material orgánico va en relación al grado de resisten- cia que se desee a la conductibilidad térmica y a la capacidad --- para soportar temperaturas elevadas.

Refractarios útiles para pegar los ladrillos en la construc- ción de un horno:

Para ligar los ladrillos en la construcción de un horno, se - puede hacer mediante una mezcla de arcillas crudas con calcinadas, y un poco de agua. Se utilizan materias crudas, para que al que- marse el horno, estas se adhieran fuertemente a los tabiques; y se usan arcillas calcinadas, para impedir una contracción apreciable durante el secado.

3- Medición de temperatura

Para un control efectivo de la temperatura, se necesitan ---- medios eficientes y exactos. El alfarero primitivo confiaba en su habilidad para reconocer la temperatura por el color de la cámara de combustión, pero esto presenta la desventaja de ser muy inexac- to y solo la mucha experiencia les daba la idea de como operar el horno, pues como se ve en la Tabla 1-4, hay un gran rango de tem--

TABLA 1-4

TEMPERATURA DE CALENTAMIENTO Y COLORES

°C	Color del fuego	Efecto en la arcilla	Tipos de objetos y barnices
585		Sale el agua de la -	Colores sobre barniz y --
602		plasticidad	esmaltes para metales
625			
662	Rojo		
696	opaco		
727		Se quema la materia	Barnices rojo cromo
767		orgánica	
790		Empieza la deshidra	
834		tación	
866			
869	Rojo ce-	Empieza la oxidación	Lustres
886	reza		
887			
915			
945			Barnices de plomo de ----
973	Naranja		cocción
991			
1031		Maduran las arcillas	Objetos de barro de -----
1050		rojas	cocción baja
1086			
1101			
1117	Amarillo	Maduran las arcillas	Objetos de barro que al -
1136		que al quemarse, nos	quemarse nos dan una co--
1142		dan una coloración -	loración ante u ocre
1152		ante u ocre	
1168		Se funde la arcilla	Barnices de porcelana
1177		roja	
1201			
1215			
1236			
1260	Blanco	Madura la arcilla de	Cuerpos blancos, vajillas
1285		barro	de barro
1294			
1306			
1321			
1388		Madura la porcelana	Porcelana
1424			

peratura para una coloración interna del horno. Además de este -- método primitivo, se pueden medir las temperaturas mediante un --- pirómetro óptico, este aparato conciste en comparar el color den-- tro del horno con una carta standard de colores y de este modo se hacen las lecturas de temperatura, con esta carta de colores se -- puede tener un mejor control de la temperatura que el método ante- rior, pero de cualquier manera este procedimiento es muy inexacto. Los métodos mas exactos para medición de temperaturas son los conos pirométricos y los termopares.

a) Conos pirométricos:

Conciste en una pirámide pequeña y delgada de arcilla con --- otros materiales cerámicos, mezclados en una forma tal que se sua- vizan y deforman cuando llegan a una temperatura predeterminada -- Fig. 1-4. Los conos se usan para indicar el punto de calentamien- to deseado, su intensidad y la uniformidad de calor en toda la car- ga. Los primeros conos que se usaron en la industria fueron desa- rrollados en Alemania en 1886 por Herman Seger. Los conos tipo -- Seger estan representados en la Tabla 1-5, con su respectiva equi- valencia de temperatura. En América los cono mas usados son los - que desarrollo Edward Orton. (Las instrucciones que a continuación se dan, se refieren a los conos Orton).

Incluyen sesenta y un números distintos de conos de 022 en el extremo mas bajo hasta el No. 42 en el mas alto, Tabla 1-6. Se -- consiguen en dos tamaños, el pequeño de 1 1/8 pulgadas y el normal que es de 2 1/2 pulgadas. No son intercambiables aunque estan --- numerados de idéntico modo.

Método de aplicación:

FIG. 1-4

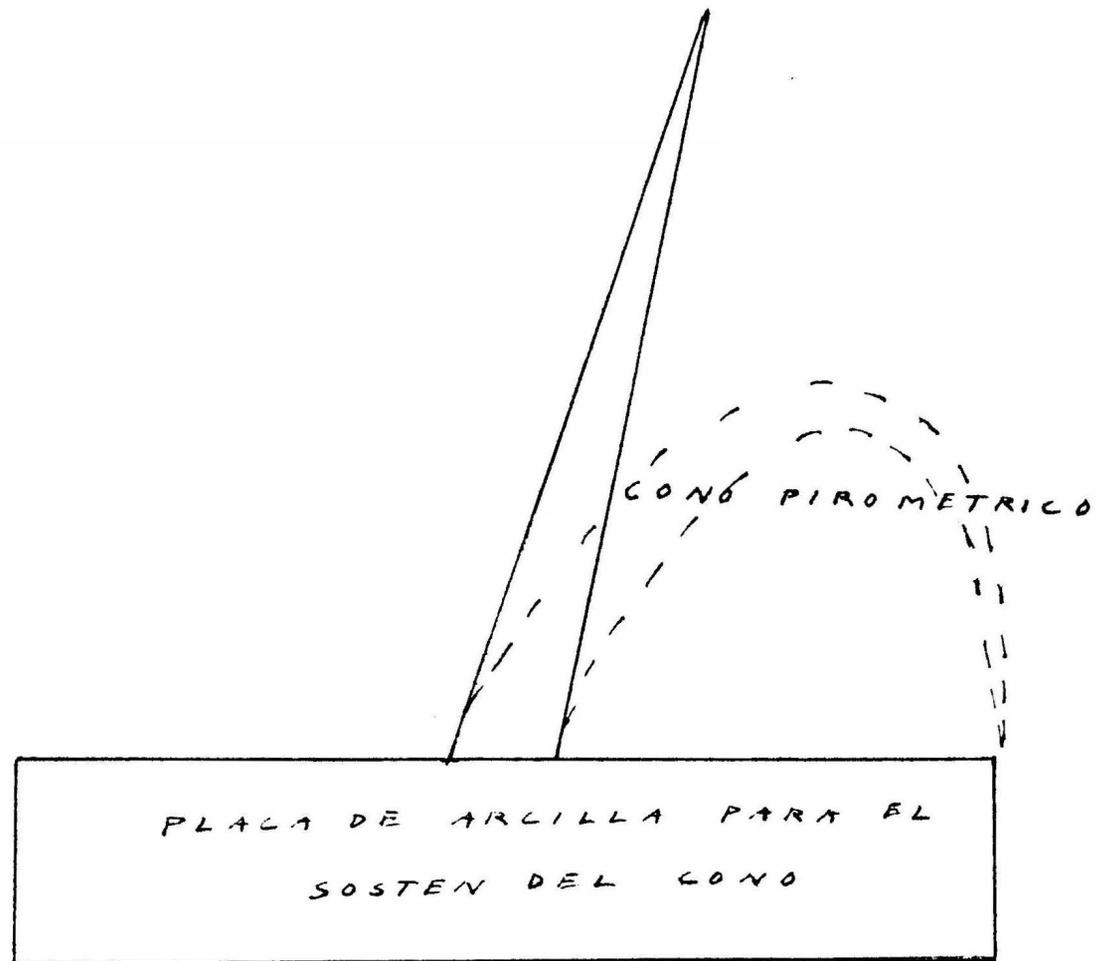


TABLA 1-5

EQUIVALENTES DE TEMPERATURA DE LOS CONOS PIROMETRICOS SEGER

Número de cono	Temperatura °C	Número de cono	Temperatura °C
022	590	10	1330
021	620	11	1350
020	650	12	1370
019	680	13	1390
018	710	14	1410
017	740	15	1430
016	770	16	1450
015	800	17	1470
014	830	18	1490
013	860	19	1510
012	890	20	1530
011	920	26	1650
010	950	27	1670
09	970	28	1690
08	990	29	1710
07	1010	30	1730
06	1030	31	1750
05	1050	32	1770
04	1070	33	1790
03	1090	34	1810
02	1110	35	1830
01	1130	36	1850
1	1150	37	1870
2	1170	38	1890
3	1190	39	1910
4	1210		
5	1230		
6	1250		
7	1270		
8	1290		
9	1310		

TABLA 1-6

EQUIVALENTES DE TEMPERATURA DE LOS CONOS PIROMETRICOS ORTON

Número de cono	Cono pequeño, T °C	Cono grande, T °C
022	585	600
021	602	614
020	625	635
019	668	683
018	696	717
017	727	747
016	767	792
015	790	804
014	834	838
013	869	852
012	866	884
011	886	894
010	887	894
09	915	923
08	945	955
07	973	984
06	991	999
05	1031	1046
04	1050	1060
03	1086	1101
02	1101	1120
01	1117	1137
1	1136	1154
2	1142	1162
3	1152	1168
4	1168	1186
5	1177	1196
6	1201	1222
7	1215	1240
8	1236	1263
9	1260	1280
10	1285	1305
11	1294	1315
12	1306	1326
13	1321	1346
14	1388	1366
15	1424	1431

Se fijan en placas de arcilla y se inclinan a un ángulo de 90 grados de la vertical. La base del cono se corta al ángulo deseado para dar esta inclinación. Comúnmente se fijan tres conos en la placa; el que indica la temperatura de maduramiento deseado se coloca en medio, el que indica la temperatura próxima máxima en un lado y el que indica la próxima mínima al otro lado. Por ejemplo, si el cono C5 indica la temperatura deseada, se usarán los C6 y C4 a los lados también.

Los conos se fijan de tal modo en la placa que se doblen hacia un lado plano, no contra un borde. Se leen de acuerdo con la carátula de un reloj. Un cono nuevo en posición tendrá la punta indicando las 12 y la 1 del reloj. Cuando de su señal completa de -- calor, la punta estará inclinada hasta llegar a la posición 6 del reloj. El calentamiento, por ejemplo el cono C5 a las 4 del reloj, con tres conos. El más bajo, el C6 en el ejemplo anterior, se dobla primero, y da aviso al operador del horno que la temperatura deseada casi se ha alcanzado y que debe estar cerca para cerrar el fuego del horno. El cono más alto, C4, registra cualquier calentamiento excesivo, por ligero que sea.

Velocidad de calentamiento:

Hasta que el horno alcance un color cereza brillante, el calentamiento debe hacerse lentamente, después de esto, se puede acelerar. Este modo de calentar favorece a los objetos que se cocen, al horno, y al mismo tiempo permite al cono reaccionar tan exactamente como es posible. Un calentamiento demasiado lento hace que el cono se doble antes de que se haya alcanzado la temperatura --- deseada. Un calentamiento demasiado rápido dilata el doblamiento del -

cono. Esto es cierto en toda clase de hornos y en cualquier condición atmosférica.

Conos autógenos:

Se pueden obtener indicaciones de temperatura bastante exactos con conos hechos de la misma arcilla con que hicieron los objetos. Se corta en yeso o en sancochado suave un molde prensado, a las dimensiones aproximadas de un cono normal. Se puede usar vidrio de botella mezclado con la arcilla en varias diferentes proporciones al hacer los conos y numerarlos. Cuando están secos se ponen a cocer junto con otros conos normales que se sepa estén cerca de la temperatura de maduración de la arcilla. Esto provee un medio de calibración para los conos autógenos.

Si no se cuenta con ningún cono normal para calibrar, los conos pueden quemarse con alguna muestra de los objetos. Cuando el horno parece, por su color, haber alcanzado una temperatura suficientemente alta (Tabla 1-4), se apaga y cuando este frío, se toma nota de la deformación de los conos. Si los objetos están bien maduros, se anota el cono respectivo, lo mismo que si el fuego no ha sido suficiente o si se ha sobrepasado.

Atmósferas del horno y lecturas de los conos:

Cuando prevalece una atmósfera reductora durante el calentamiento, los conos se cubrirán de carbón. Esto los hace rígidos retardando su deformación y afectando su exactitud. Un cono carbonizado se identifica por la falta de brillo y la presencia de bordes agudos en forma de dientes de sierra. Una atmósfera sulfurosa tiende a hinchar el cono en la base y a arrugar su superficie.

b) Termopares:

Se basan en dos principios, el de Thomson y el de Peettier:

El de Thomson establece que en un solo compuesto, si se calienta, hay una diferencia de potencial entre la punta caliente y la punta fría, que es proporcional a la corriente.

El de Peettier se refiere a dos metales, y al ponerlos en contacto, se origina una diferencia de potencial que es proporcional a la temperatura y a la composición química de los metales.

La corriente generada se mide por un galvanómetro, además, está en relación directa a los materiales y a la estabilidad de estos a la temperatura de trabajo. La lectura que nos da el galvanómetro, la podemos transformar en temperatura, mediante tablas de milivolts contra temperatura, o bien calibrar el galvanómetro para que directamente nos de la temperatura registrada.

Los termopares mas comunes estan explicados en forma esquemática en la Tabla 1-7. Debido a que los productos de combustión pueden -- alterar los materiales de que esta compuesto el termopar, estos deben estar protegidos mediante fundas, su forma y composición estará de -- de acuerdo al tipo de termopar.

Las fallas de los termopares pueden deberse a:

Por corto circuito entre los alambres.

Ruptura de la conexión de la punta caliente.

Elementos del termopar corroidos.

Falso contacto en las terminales de la junta fría.

Imersión inadecuada en el medio.

Temperatura de la junta fría no compensada.

Si hay respuesta muy lenta se debe a que el tubo de protección es inadecuado.

TABLA 1-7

TERMOPAR	COMPOSICION QUIMICA		LIMITE DE TEM.	TEM. MAXIMA		
	JUNTA POSITIVA	JUNTA NEGATIVA			°C	°C
Crómel alumen	Crómel	90% de Ni 10% de Cr	Alumen	94% de Ni 2% de Al 3% de Mn 1% de Si	De -200 a 1200	1350
Fierro constantan	Fierro	100% de Fe	Constantan	60% de Cu 40% de Ni	De -200 a 750	1000
Cobre constantan	Cobre	100% de Cu	Constantan	60% de Cu 40% de Ni	De -200 a 300	600
Platino, platino y rodio	Platino y rodio	90% de Pt 10% de Rh o 87% de Pt 13% de Rh	Platino	100% de Pt	De 0 a 1450	1700

CAPITULO No. 2

(DISEÑO DEL HORNO)

El diseño del horno está representado en la figura 2-1. El --- volumen útil de este, es 1.24 Mts³. Los objetivos principales son; evitar al máximo las pérdidas de calor y la utilización eficiente de los combustibles mediante un recuperador de calor y dos cámaras para la cocción de piezas de alfarería en forma intermitente.

1- Descripción de sus partes:

Las partes en que se compone el horno son las siguientes:

Figura 2-1.

Armazón, (a).

Dos puertas, (b).

Dos cámaras, (c).

Un inyector de aire, (d).

Un recuperador de calor, (e).

Chimenea, (f).

Dos ventanillas, (g).

Equipo de combustión instalado en la parte inferior.

Ductos para el transporte de los gases de combustión.

Armazón:

Está construida con angulo de acero de 0.63 Cm. de grueso y 5 - por 5 Cm. de ancho, su principal función es la de soportar toda la carga del horno, sus especificaciones estan representadas en la Fig. 2-2.

Puertas:

El objetivo de estas, es el permitir la carga y descarga del -- horno, además, el cierre hermético del horno, Fig. 2-1 (b).

Cámaras:

Son las partes más importantes del horno, pues es aquí donde -- se efectúa la cocción de los objetos. El horno está constituido por dos cámaras Fig. 2-1 (c), están construidas por ladrillo refractario de diferentes formas. La parte inferior tiene doble pared Figs. --- 2-3, 2-5, y 2-6, el objeto de esta, es la irradiar la mayor parte de calor y al mismo tiempo sirve de protección a los quemadores, pues - les evita un calentamiento excesivo.

La primer cámara está representada en las Figs. 2-3 y 2-4, está provista de dos quemadores en la parte derecha, Fig. 2-3 (a), y en - el lado contrario dos ductos para dar salida a los gases de combus-- tión, Fig. 2-4 (a), la colocación de los quemadores y los ductos en esta posición, trae como ventaja, una mejor transmisión de calor.

En las Figs. 2-5 y 2-6 está la representación de la segunda --- cámara, está constituida en la parte derecha, por un quemador, Fig. 2-4 (b) y dos ductos que desalojan en esta, los gases de combustión de la primera, Fig. 2-4 (a), en el lado izquierdo se encuentran ---- tres ductos para dar salida a los gases de combustión, Fig. 2-6 (a), la posición de los quemadores y ductos, tiene la misma explicación - que en la primera cámara.

Cuando las dimensiones de las cámaras son grandes es indispen-- sable poner un refuerzo metálico entre las paredes y la bóveda, Fig. 2-10 (a), pues existe la posibilidad que las paredes se rompan por - el esfuerzo que la bóveda ejerce sobre esta. El grado de esfuerzo - está en relación directa al tamaño de las bóvedas. En el caso espe-

cífico tratado en esta tesis, es recomendable poner este refuerzo.

Soplador:

Es un aparato cuya finalidad es la de inyectar aire a determinada velocidad y presión, Figs. 2-1 (d), 2-7 (a), y 2-8 (a). Este aire pasa por el recuperador de calor, Fig. 2-7 (c), se calienta, y se utiliza para llevar a efecto la combustión.

Recuperador de calor:

Está construido con ladrillo refractario y tubería de acero, la Fig. 2-7 (c) nos muestra el recuperador visto por fuera, la Fig. 2-8 (f), nos muestra su parte interior, y la Fig. 2-12 nos indica como se deben colocar los tabiques refractarios para su construcción.

Chimenea:

Desempeña la función de desalojar los gases de combustión y el vapor de agua desprendido durante la cocción de los objetos. Su altura y diámetro es variable, depende de los lugares en que se encuentre el horno, del volumen y velocidad de los gases de combustión.

Las ventanillas del horno:

Se utilizan para observar el interior del horno, y al mismo tiempo para determinar su temperatura por el grado de ablandamiento de los conos pirométricos. La Fig. 2-1 (g) nos muestra estas ventanillas que deben tener tabique refractario para evitar fugas de calor.

Equipo de combustión:

Está instalado en la parte inferior del horno Fig. 2-9, (e) es el regulador de la cantidad de combustible suministrado, (d) es la tubería de gas natural, (f) y (f') son los quemadores. El quemador (f'), está como emergencia, la mayor parte del tiempo permanece ---

cerrado y solo funciona a la par con los demás, cuando se obtienen - objetos de elevada calidad, por requerir estos elevadas temperaturas de cocción. Cuando no hay necesidad de utilizar el quemador (f') es aconsejable, con algún ladrillo refractario o parte de este, cubrir el hueco dejado por el quemador y así evitar fugas caloríficas.

La manera en que se combinan el aire precalentado y el gas combustible para efectuar una buena combustión está representado en la Fig. 2-11, (a) es el tubo transportador de aire caliente, (b) el ---- ducto de combustible, y (c) el lugar donde se efectúa la combustión. La finalidad del espiral que forma el ducto del gas combustible ---- entre el tubo transportador de aire caliente, es la de llevar a ---- efecto una mejor combustión, ya que al calentarse el combustible, -- este se quema con el aire que está a la misma temperatura. El objetivo del dispositivo en forma de cruz (d) es homogenizar la temperatura de la flama y evitar que el quemador se apague durante su funcionamiento.

Ductos para transportar los gases de combustión:

Los ductos (b) Fig. 2-9, tienen la finalidad de cambiar los --- gases de combustión de la primer cámara a la segunda, los (b') transportan estos gases del segundo compartimiento al recuperador de calor. Se debe evitar a lo máximo, conos rectos, por producir altas - fricciones y por ende una notable disminución de velocidad de los -- gases de combustión, que tendrá como consecuencia una menor eficiencia del horno. Los ductos se recomienda hacerlos de ladrillos re--- fractarios delgados, porque además de evitar pérdidas de calor, desempeñan la función de servir como válvulas de escape y al romperse, no existe ningún peligro, por dirigirse los fragmentos de los tabi--- ques al suelo. Las dimensiones de estos ductos deben ser grande; las

FIGURA 2-1

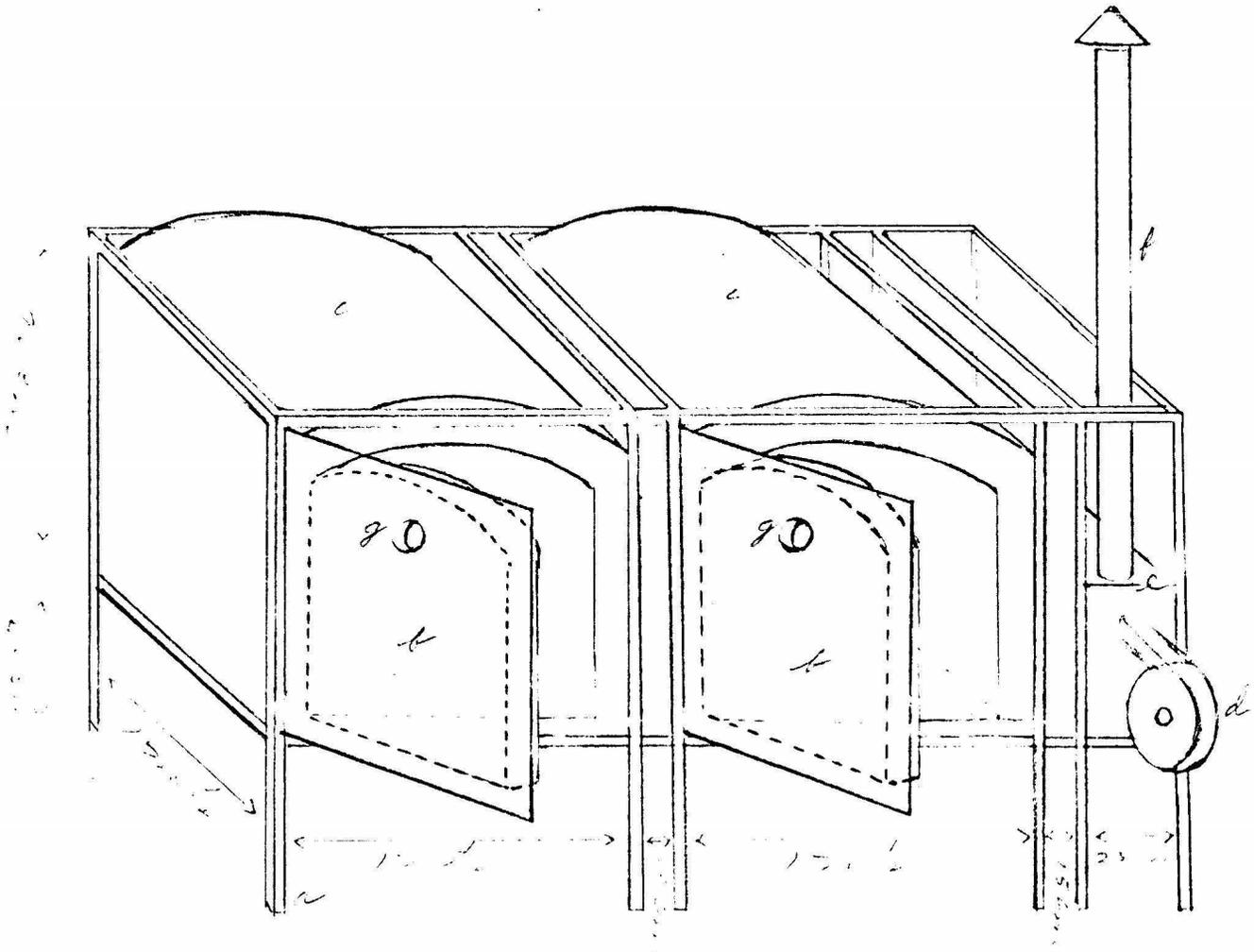


FIGURA 2-2

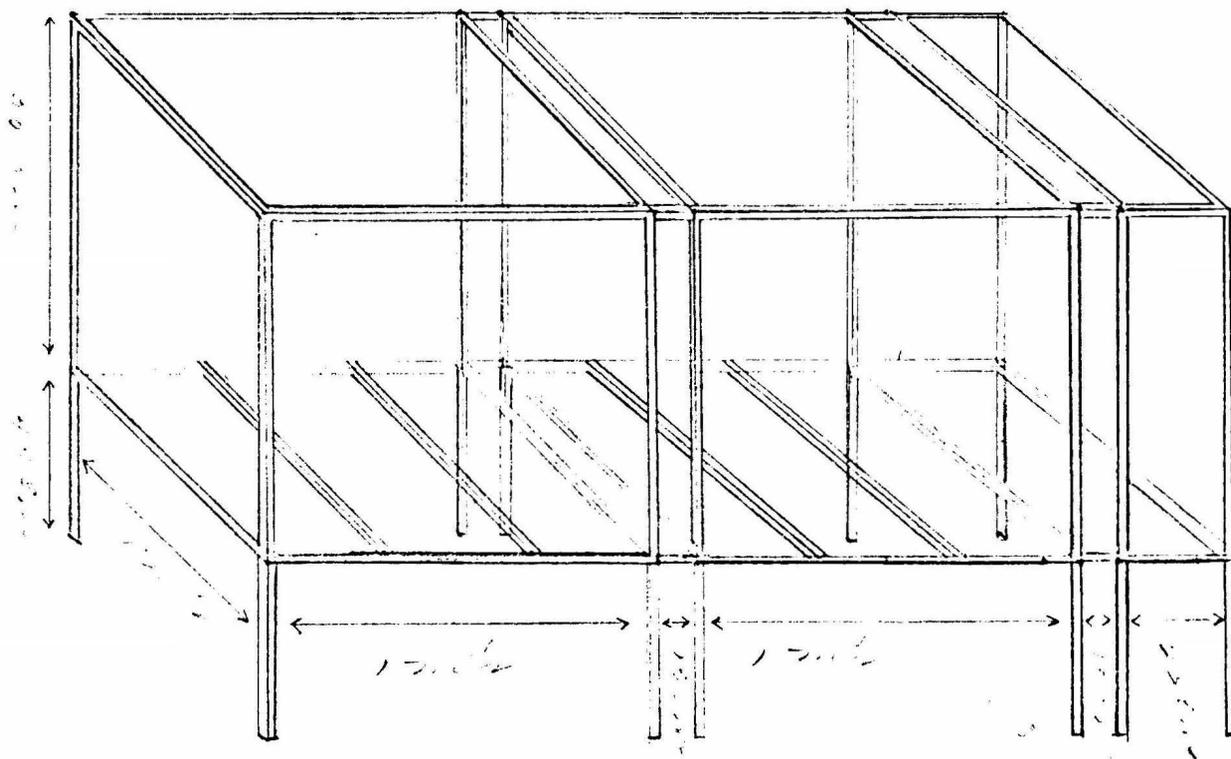


FIGURA 2-3

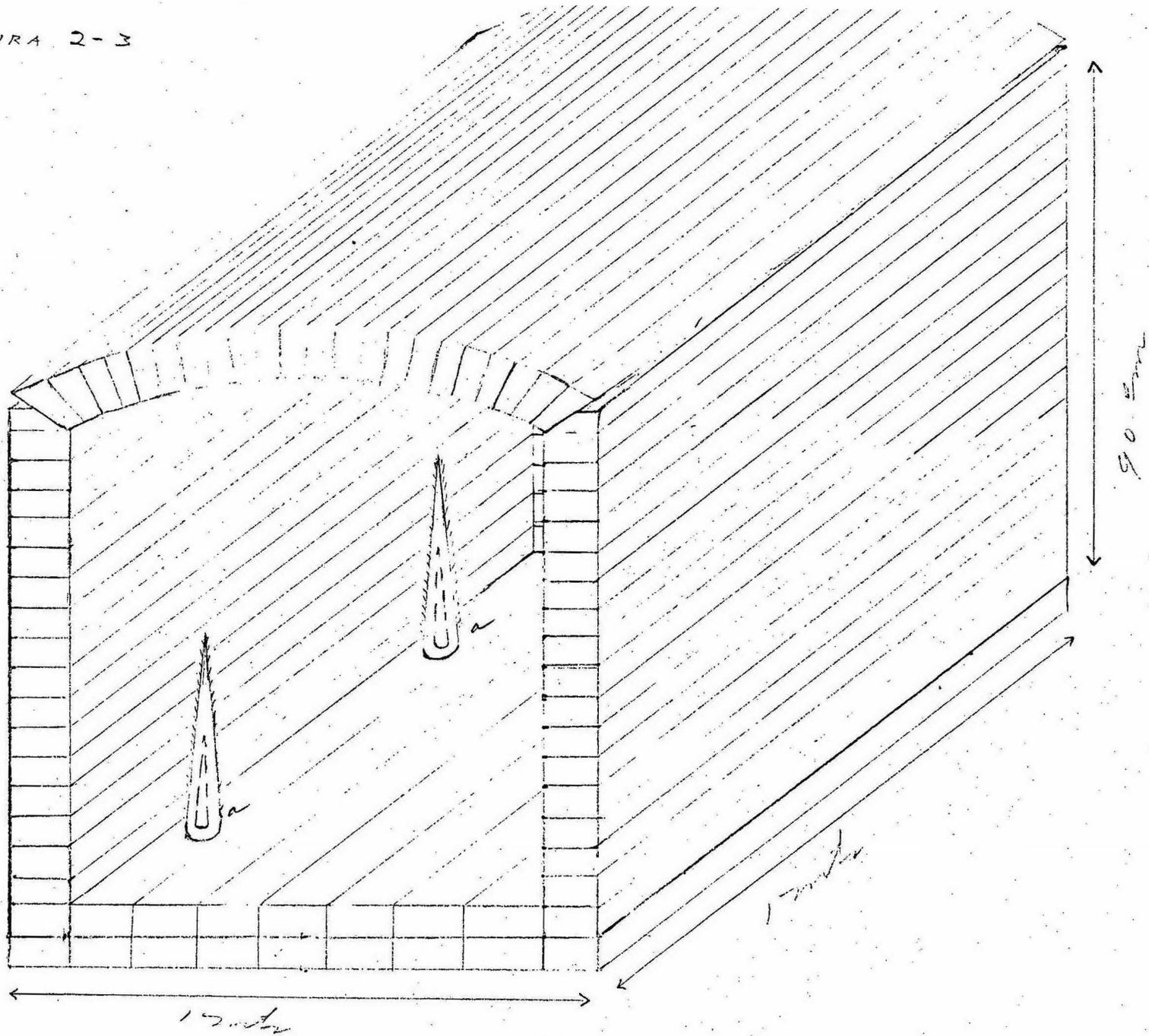


FIGURA 2-4

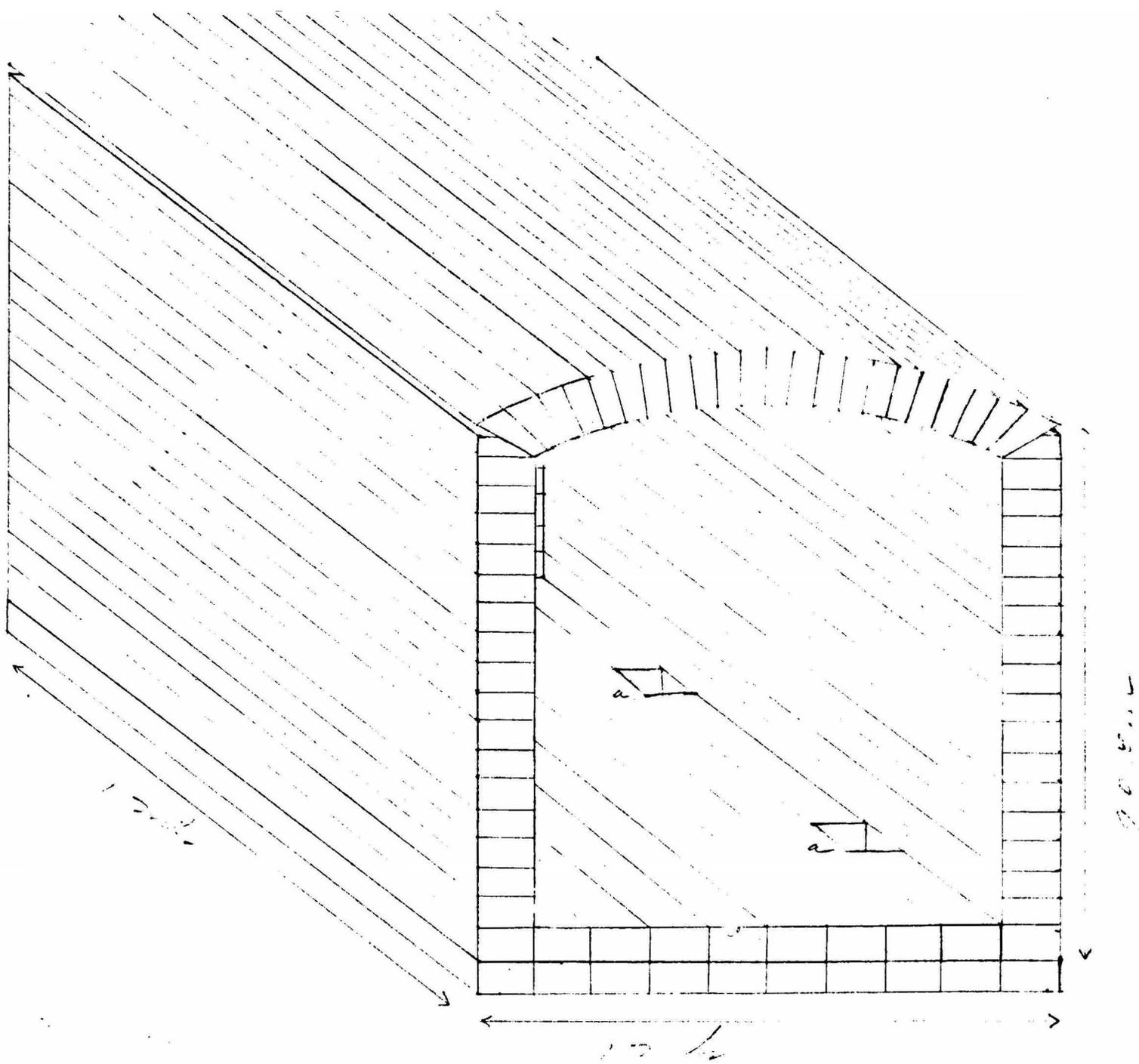
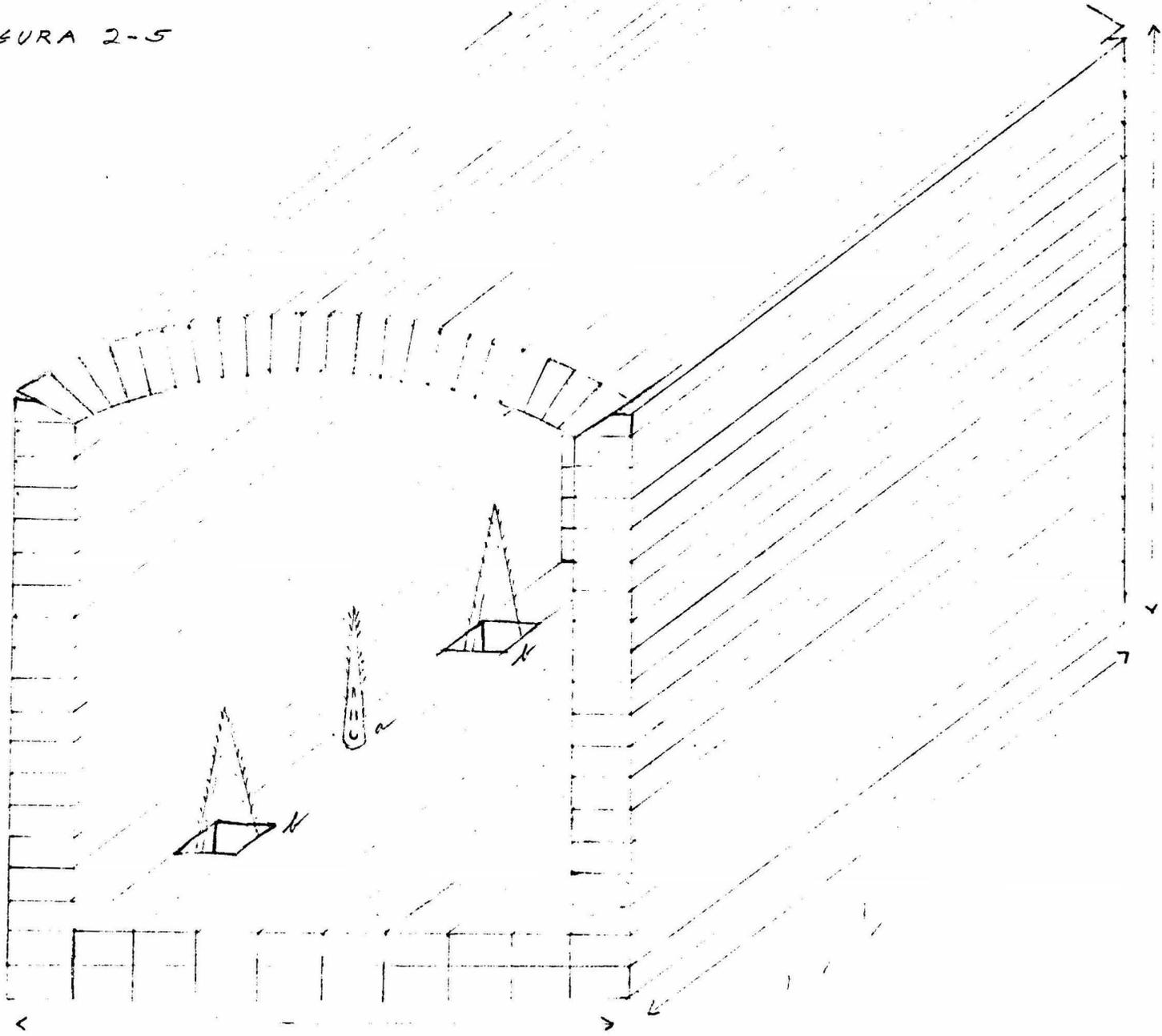


FIGURA 2-5



1-7-11-2

FIGURA 2-6

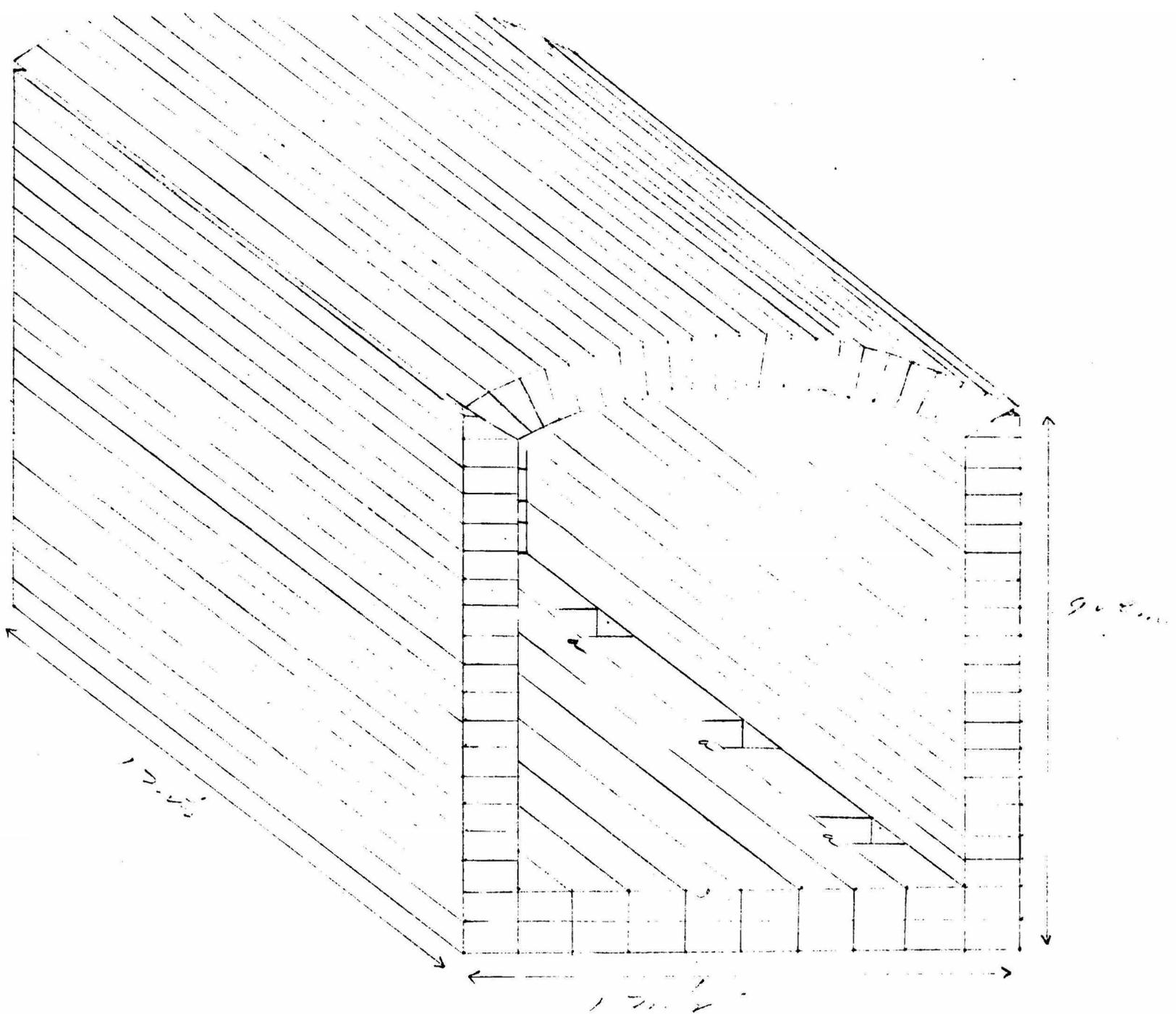


FIGURA 2-7

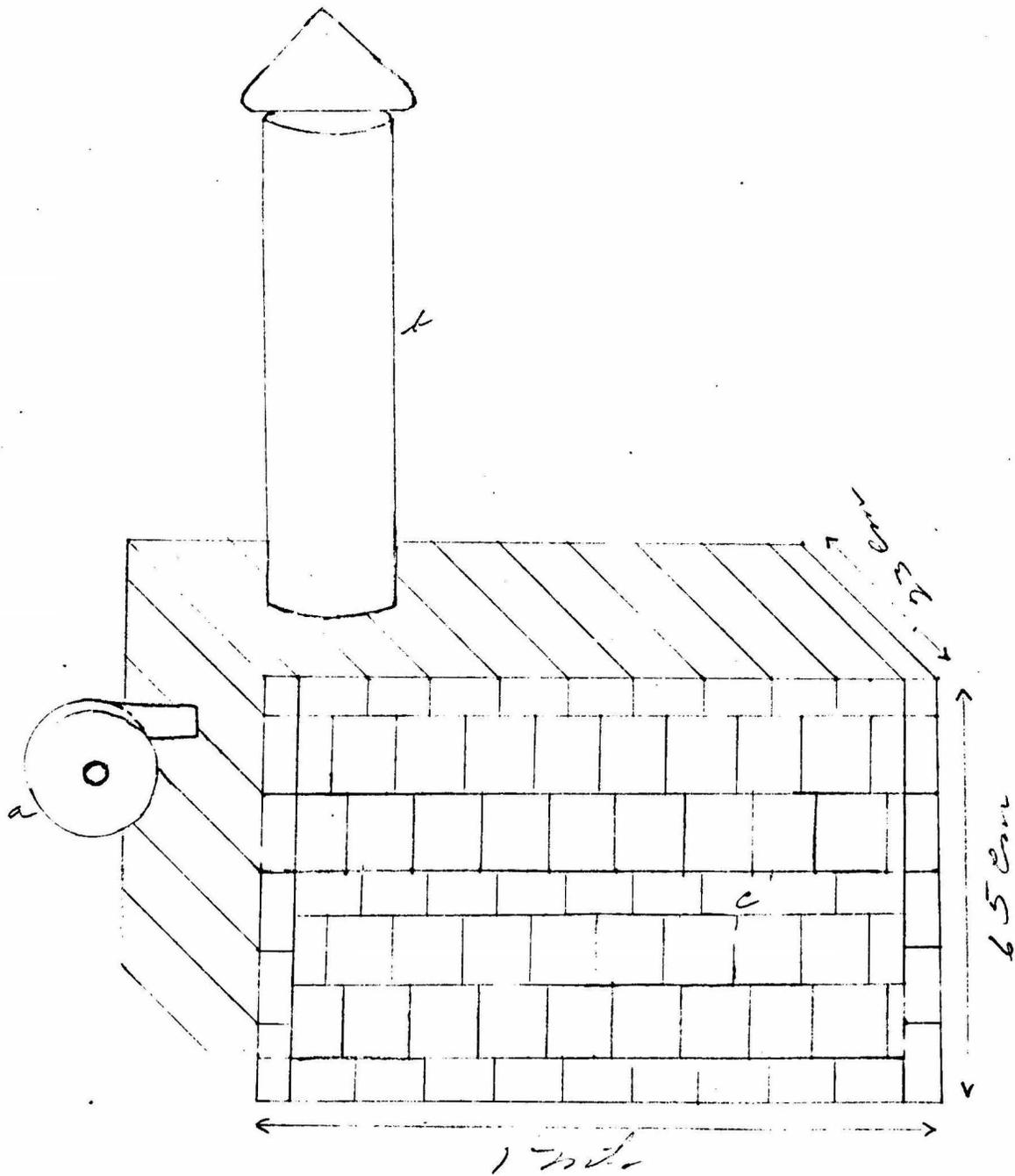


FIGURA 2-8

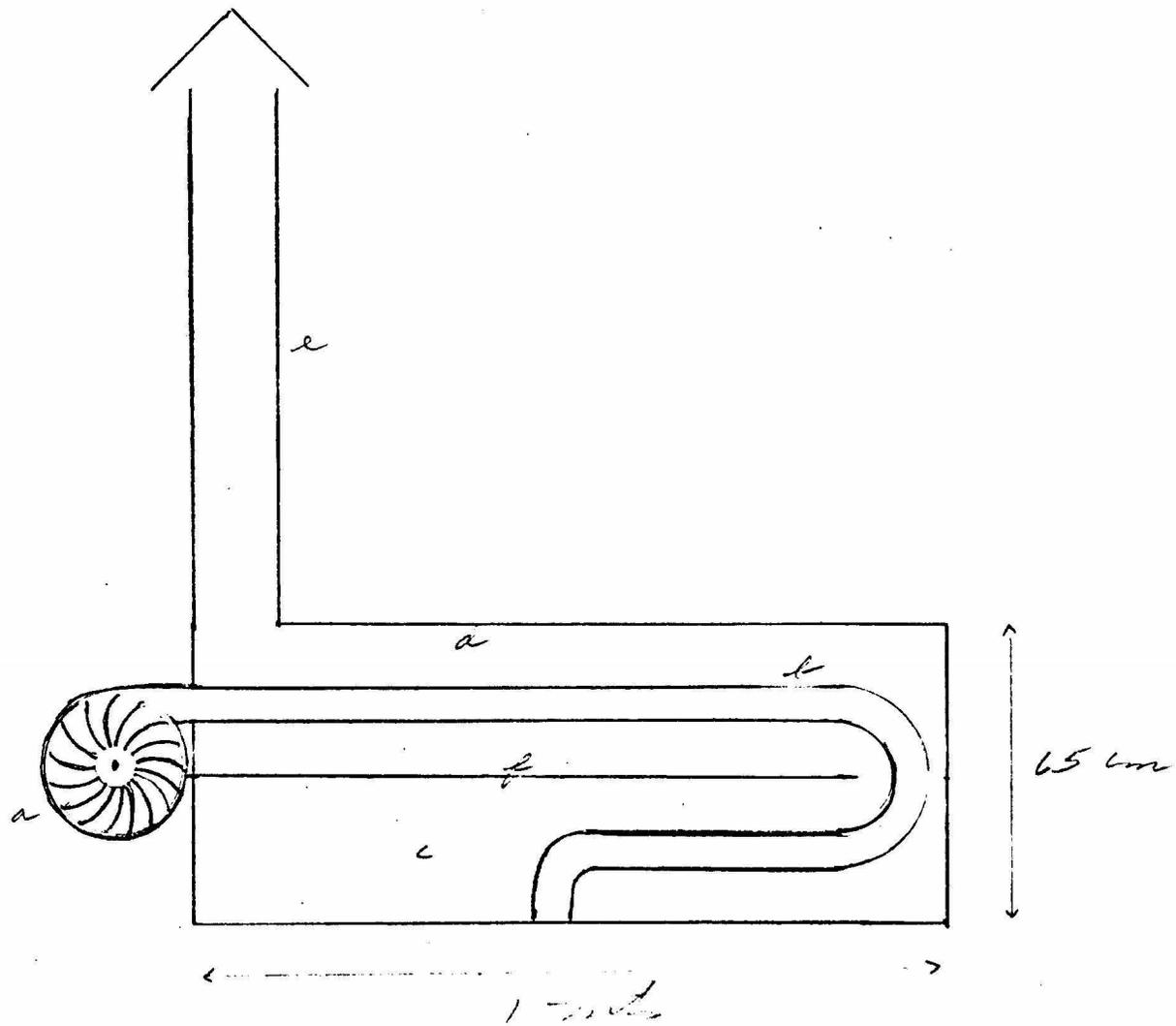


FIGURA 2-9

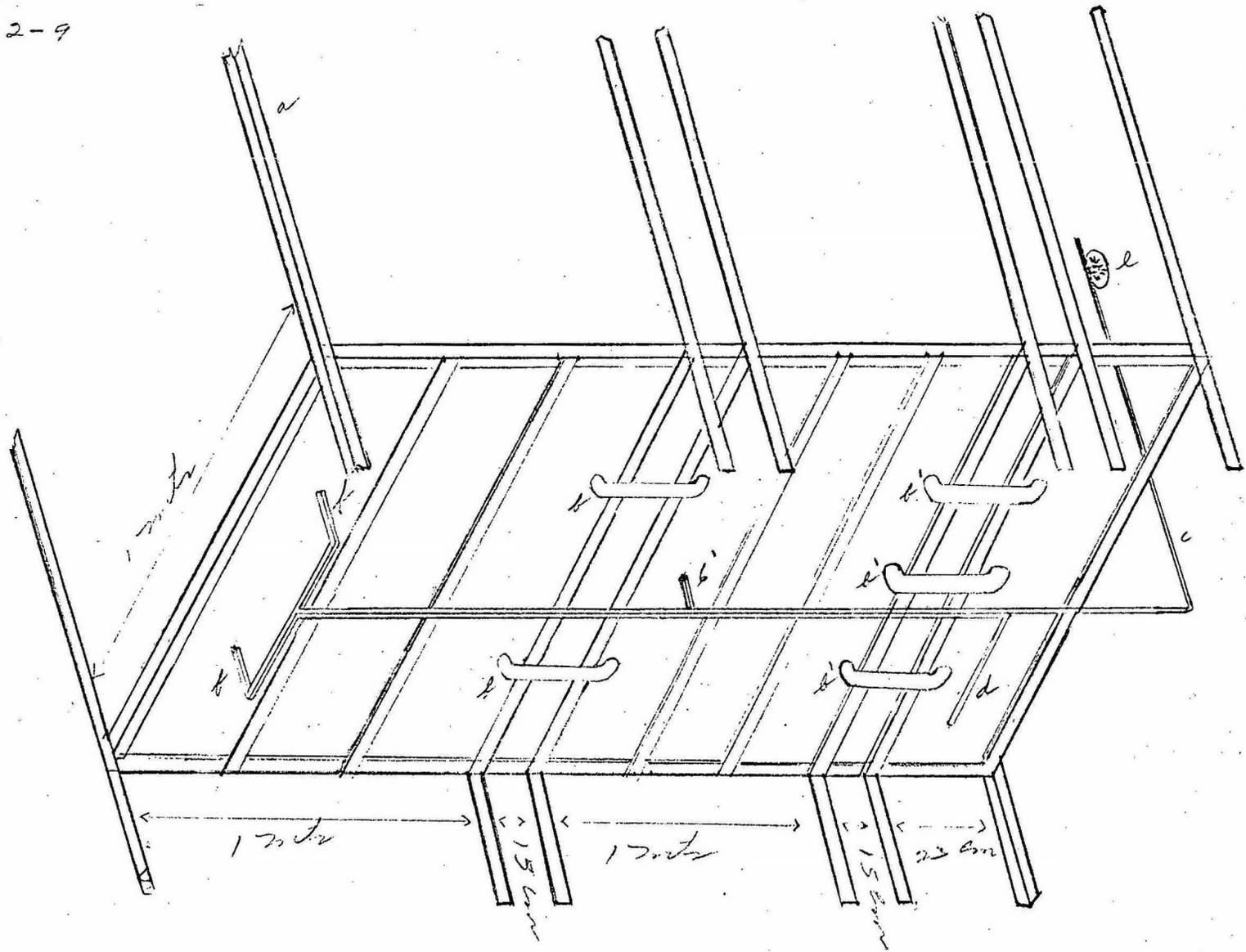


FIGURA 2-10

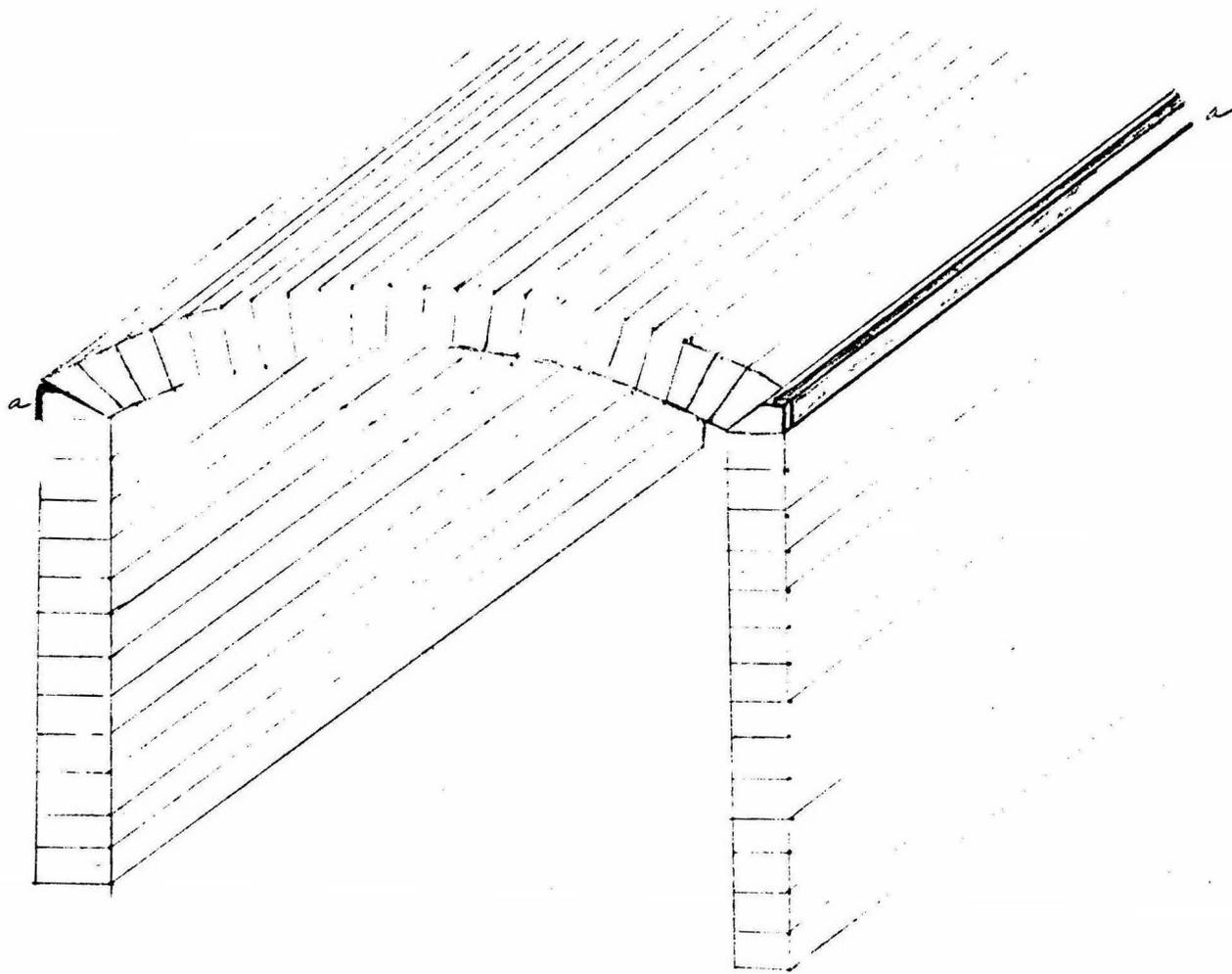


FIGURA 2-11

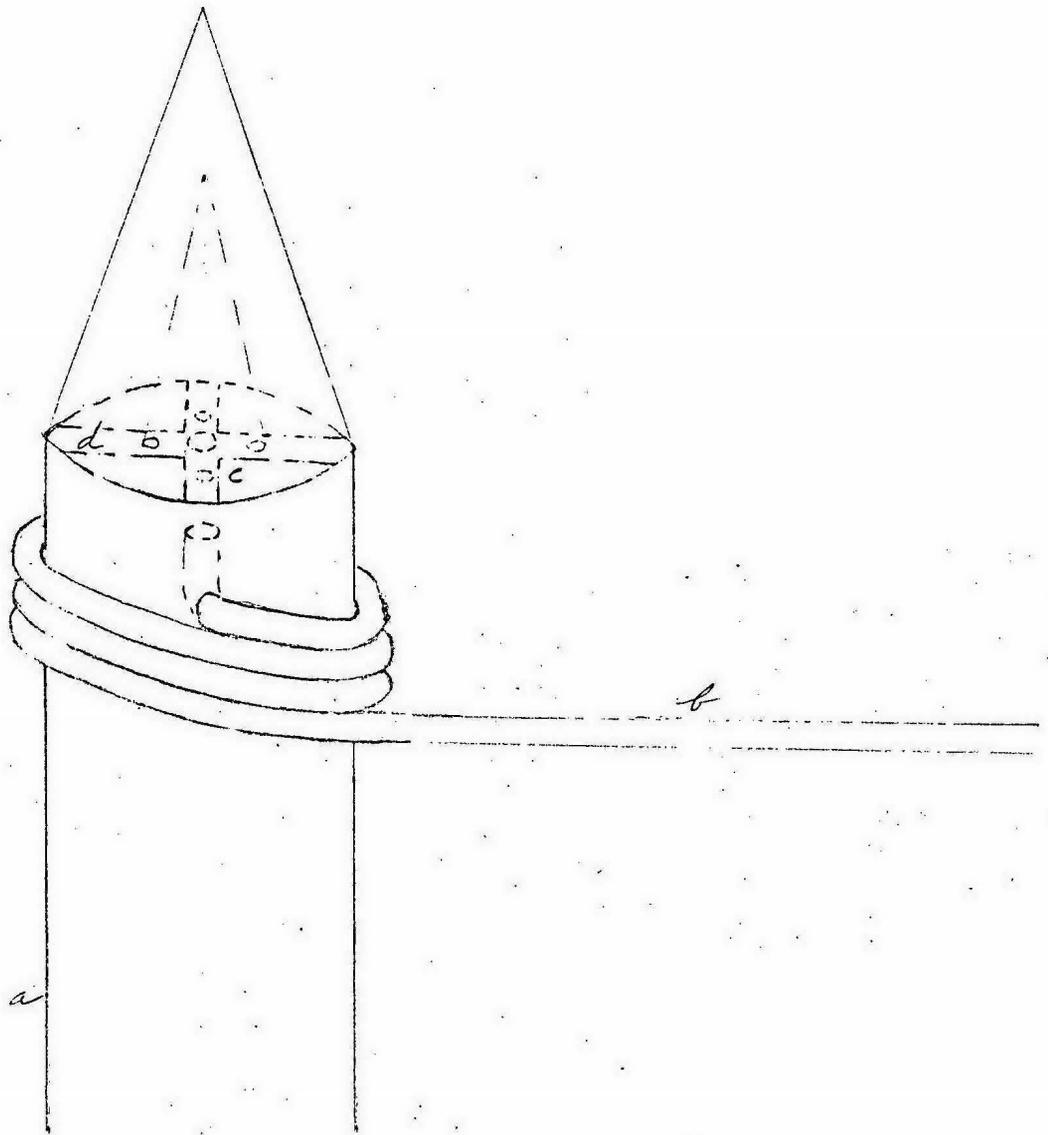
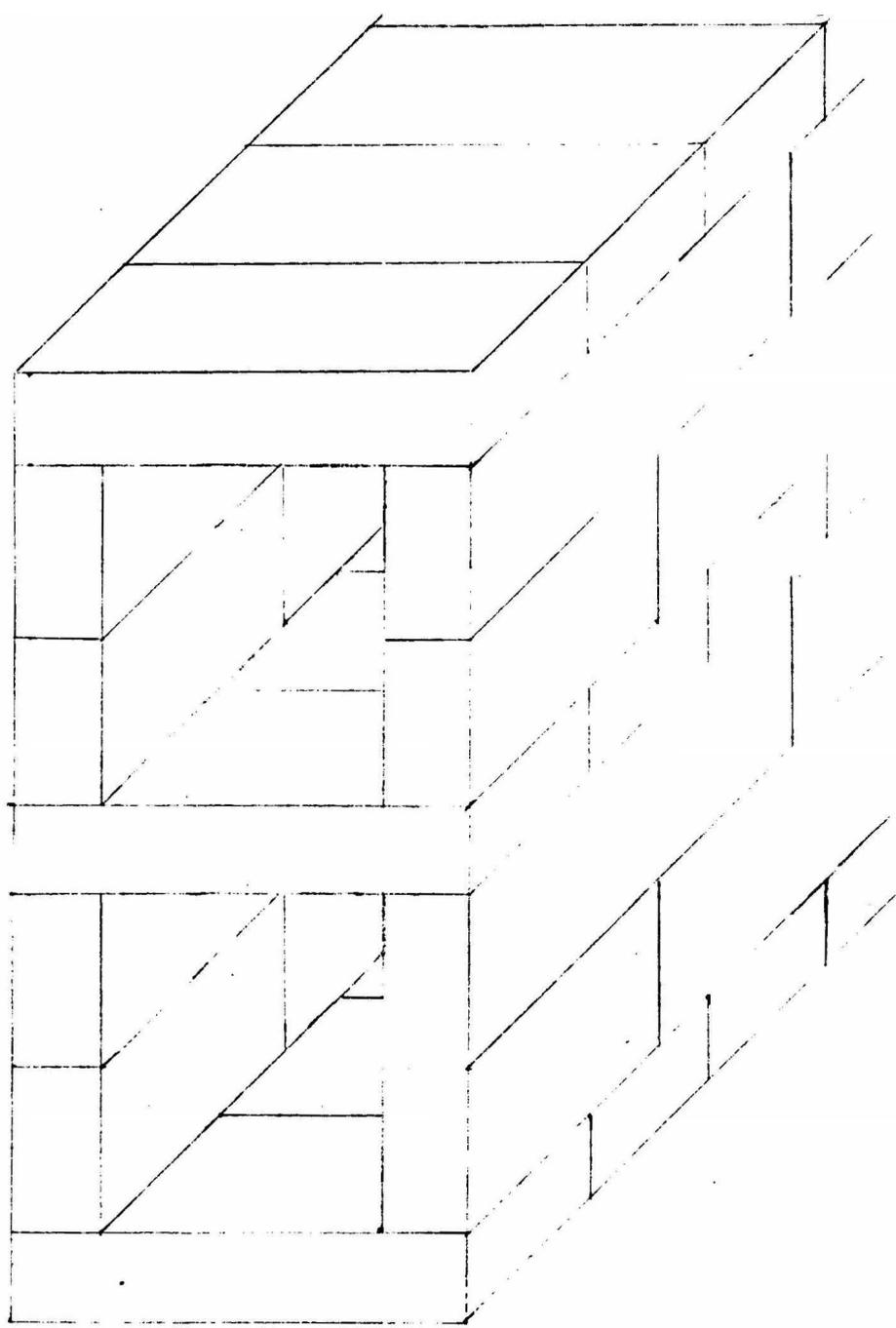


FIGURA 2-12



fugas de calor que se puedan producir, se controlan al regular el tiro de el horno.

2- Material necesario;

Construcción

- a) Ladrillo refractario.
- b) Mortero " " "
- c) Tuberia.
- d) Solera de ángulo.
- e) Aislante.

Equipo

- a) Quemadores.
- b) Tanque de combustible.
- c) Reguladores y válvula de seguridad.
- d) Soplador.

Equipo de seguridad

- a) Extinguidor.
- b) Mascarilla y guantes.

Construcción:

- a) Ladrillos refractarios;

Los tabiques que se necesitan son de las siguientes dimensiones:

Rectangular, 22.9 Cm. de largo por 11.4 Cm. de ancho por 6.4 Cm. de alto.

Dovela canto, 22.9 Cm. de largo por 11.4 de ancho por (6.4 Cm. primera altura menos 5.4 Cm. segunda altura).

Area de los refractarios en la formación de paredes y bóvedas - de las cámaras igual a 6.4 Cm. por 22.9Cm. igual a 146.5 Cm².

Area de los tabiques en la construcción de las bases de las cámaras, además, paredes y bases del recuperador de calor igual a 22.9 - Cm. por 1.44 Cm. igual a 330 Cm²

El total de ladrillos aislantes que soporten una temperatura -- mínima de 1,500 °C son los de la primera cámara, y equivale a la suma de los de las paredes, bóveda y base.

$$\text{Tabiques de paredes} = \frac{\text{Area de paredes}}{\text{Area de los tabiques}} = \frac{36,000 \text{ Cm}^2}{146.5 \text{ Cm}^2} = 246$$

$$\text{Ladrillos de la bóveda} = \frac{\text{Area de la bóveda}}{\text{Area de los ladrillos}} = \frac{10,500 \text{ Cm}^2}{146.5 \text{ Cm}^2} = 72$$

$$\text{Tabiques de la base} = \frac{\text{Area de la base}}{\text{Area de los tabiques}} = \frac{20,000 \text{ Cm}^2}{330 \text{ Cm}^2} = 66$$

$$\text{Total} = 246 + 72 + 66 = 384$$

El número de ladrillos aislantes del segundo compartimiento --- equivale a los tabiques del anterior, pero con la diferencia que --- este tipo, debe reunir como requisito que resistan una temperatura -- mínima de 1,150 °C.

$$\text{Ladrillos de la segunda cámara} = 384$$

Los tabiques del recuperador, no es indispensable que sean ---- aislantes, pero necesitan tener la propiedad de conservar sus características refractarias a una temperatura mínima de 1,100 °C. La -- cantidad de ladrillos se encuentra al sumar el total de las paredes y el total de las bases.

$$\text{Ladrillos de las paredes} = \frac{13,000 \text{ Cm}^2}{330 \text{ Cm}^2} = 39$$

$$\text{Ladrillos de las bases} = \frac{6,900 \text{ Cm}^2}{33 \text{ Cm}^2} = 20$$

Total= 59

Síntesis:

Tabiques de la primera cámara =	384
Tabiques de la segunda cámara =	384
Tabiques del recuperador =	59
Total	<u>827</u>

b) Mortero refractario:

Dos botes de capacidad de 40Kg. cada uno son suficientes para el total de ladrillos.

c) Tubería:

- 5 metros de tubo de acero de 5 cm. de diámetro.
- 5 metros de tubo de acero de 3 cm. de diámetro.
- 1 metro de tubo de acero de 2.5 cm. de diámetro.
- 5 metros de tubo de cobre de 1 cm. de diámetro.

d) Solera de ángulo:

50 metros.

e) Aislante:

Un bulto de 20 Kg. de capacidad.

11 metros cuadrados de placa de asbesto.

Equipo:

a) 3 quemadores, (se pueden fabricar con tubería de acero y cobre).

b) Un tanque de combustible.

c) Uno o dos reguladores según problemas, que se presenten con --- los quemadores.

Una válvula de seguridad que cierre automáticamente la salida del gas cuando se termine.

d) Un inyector de aire.

Equipo de seguridad:

a) Un extinguidor.

b) Una mascarilla y guantes.

3- Costos;

Ladrillos refractarios	\$5,424.00
Mortero refractario	276.00
Tubería	307.00
Solera de ángulo	385.00
Aislantes	360.00
Tanque de combustible	1,275.00
Reguladores	185.00
Válvula de seguridad	223.00
Inyector de aire	2,000.00
Extinguidor	417.00
Mascarilla y guantes	260.00
Total	<u>\$11,112.00</u>

4- Consumo de combustible:

El combustible propuesto es el gas natural por las ventajas que este presente sobre los otros combustibles en el trabajo cerámico.

Los pasos para determinar el gasto de combustible son los siguientes:

a) Calcular el calor sensible de la carga.

$$Q_1 = M C_p \Delta t$$

$$Q_1 = \text{Calor sensible} = ?$$

$$M = \text{Carga del horno} = 1,000 \text{ lb.}$$

$$C_p = \text{Calor específico a presión constante, de la carga} = 0.44$$

$$\frac{\text{B.T.U.}}{\text{lb.}^\circ\text{F}}$$

$\Delta t =$ Diferencia de temperatura = Temperatura final, menos la inicial = 2,372 $^\circ\text{F}$ menos 77 $^\circ\text{F}$ = 2,295 $^\circ\text{F}$

$$Q_1 = 1,000 \text{ lb. por } 0.44 \frac{\text{B.T.U.}}{\text{lb.}^\circ\text{F}} \text{ por } 2,295 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$Q_1 = 10.1 \text{ por } 10^5 \frac{\text{B.T.U.}}{\text{Tiempo del horneado}}$$

$$Q_1 = 10.1 \text{ por } 10^5 \frac{\text{B.T.U.}}{4 \text{ horas}}$$

$$Q_1 = 2.052 \text{ por } 10^5 \frac{\text{B.T.U.}}{\text{h}}$$

b) Pérdidas de calor por conducción, a través de paredes, bóvedas y pisos.

Pérdidas a través de paredes y bóvedas

$$Q = \frac{t_o - t_f}{\frac{I_a}{k_a A} + \frac{I_b}{k_b A}}$$

$Q =$ Pérdida de calor por pie cuadrado de paredes y bóvedas = ?

$t_o =$ Temperatura del interior del horno = 2,372 $^\circ\text{F}$

$t_f =$ Temperatura del exterior del horno = 140 $^\circ\text{F}$

$I_a =$ Grosor de la pared y bóveda, medido en el ladrillo refractario = 0.375 pies

Lb = Grosor de la pared y bóveda medido en el aislante = ----
0.166 pies.

Ka = Conductibilidad del tabique refractario = 0.15 B.T.U. ---
sobre horas pie cuadrado grado Fahrenheit sobre pie.

Kb = Conductibilidad del aislante = 0.087 B.T.U. sobre horas
pie cuadrado grado Fahrenheit sobre pie.

A = Area de flujo de calor = pies²

$$Q = \frac{2372^{\circ}\text{F} - 120^{\circ}\text{F}}{\frac{0.375 \text{ pies}}{0.15 \frac{\text{B.T.U.}}{(\text{h}) (\text{pie}^2)} \left(\frac{\text{B.F.}}{\text{pie}}\right) \times \text{pie}} + \frac{0.166 \text{ pies}}{0.087 \frac{\text{B.T.U.}}{(\text{h}) (\text{pie}^2)} \left(\frac{\text{B.F.}}{\text{pie}}\right) \times \text{pie}}}$$

$$Q = 508 \frac{\text{B.T.U.}}{\text{h}}$$

$$Q'_2 = Q \Delta t$$

Q'_2 = Pérdidas a través de paredes y bóvedas = ?

Δt = Area total de las paredes y bóvedas del horno = 170.44 -
pies²

$$Q'_2 = 508 \frac{\text{B.T.U.}}{\text{h}} \cdot (170.44)$$

$$Q'_2 = 8.61 \text{ por } 10^4 \frac{\text{B.T.U.}}{\text{h}}$$

Pérdidas a través de los pisos

$$Q'_2' = \frac{kA}{L} \Delta t$$

Q'_2' = Pérdidas de calor del piso = ?

k = Conductibilidad termica del ladrillo refractario = 0.15 -
B.T.U. sobre hora pie cuadrado grado Fahrenheit sobre pie.

A = Area del flujo de calor = 21.6 pies²

L = Grosor del piso = 0.416 pies

$\Delta t =$ Diferencia de temperatura = $2,372 \text{ } ^\circ\text{F} - 212 \text{ } ^\circ\text{F} = 2,160 \text{ } ^\circ\text{F}$

$$Q_2' = \frac{0.15 \frac{\text{B.T.U.}}{\text{h}(\text{pie}^2) \text{ } ^\circ\text{F}} (21.6 \text{ pie}^2)(2,160 \text{ } ^\circ\text{F})}{0.416 \text{ pie}}$$

$$Q_2' = 1.52 \text{ por } 10^2 \frac{\text{B.T.U.}}{\text{h}}$$

$$Q_2 = Q_2 + Q_2'$$

$Q_2 =$ Calor total perdido por conducción = ?

$$Q_2 = 8.61 \text{ por } 10^4 \frac{\text{B.T.U.}}{\text{h}} + 0.0152 \text{ por } 10^4 \frac{\text{B.T.U.}}{\text{h}}$$

$$Q_2 = 8.6252 \text{ por } 10^4 \frac{\text{B.T.U.}}{\text{h}}$$

c) Pérdidas de calor por radiación y convección:

$$Q_3 = UA(t_2 - t_1)$$

$Q_3 =$ Calor transmitido

$$U = \text{Coeficiente total de transferencia de calor} = 3 \frac{\text{B.T.U.}}{\text{h}(\text{pie}^2) \text{ } ^\circ\text{F}}$$

$t_2 =$ Temperatura promedio de las paredes, bóvedas y pisos = $100 \text{ } ^\circ\text{F}$

$t_1 =$ Temperatura del medio ambiente = $77 \text{ } ^\circ\text{F}$

$$A = \text{Area total exterior} = 170.44 \text{ pie}^2 + 21.6 = 192.04 \text{ pie}^2$$

$$Q_3 = 3 \frac{\text{B.T.U.}}{\text{h}(\text{pie}^2) \text{ } ^\circ\text{F}} (192.04 \text{ pie}^2)(100 \text{ } ^\circ\text{F} - 77 \text{ } ^\circ\text{F})$$

$$Q_3 = 1.382 \text{ por } 10^4 \frac{\text{B.T.U.}}{\text{h}}$$

d) Cálculo del poder calorífico del combustible:

El poder calorífico del gas natural depende de los componentes de que este formado y estas composiciones están en relación al lugar de obtención del gas, por tanto su poder calorífico es muy variable.

Para facilitar los cálculos, tomaremos la composición del gas y los poderes caloríficos de sus componentes de las tablas 1-2 y 1-3.

Composición (%)	Poderes caloríficos (Kcal/M ³)
84.5 de CH ₄	8,560
11.5 de C ₂ H ₆	15,110
0.0 de C ₂ H ₄	14,480
5.1 de N ₂	0.0
0.2 de CO ₂	0.0
0.0 de O ₂	0.0
Poder calorífico del gas = 8,950 Kcal/M ³	

1 Mol = 22.4 Lts

1 Kg Mol = 22.4 Mts³

$$\text{Número de Kg Mol de gas} = \frac{\text{Volumen}}{22.4 \text{ M}^3} = \frac{1 \text{ M}^3}{22.4 \text{ M}^3} = 0.0446$$

Peso de 1 M³ de gas = Número de Kg Mol por P.M.

$$= 0.0446 \text{ Kg Mol por } 17.73 \frac{\text{Kg}}{\text{Kg Mol}} = 0.79 \text{ Kg}$$

$$\text{Poder calorífico del gas} = \frac{8,950 \text{ Kcal}}{0.79 \text{ Kg}} = 11,330 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}$$

$$\frac{11,330 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}} \text{ por } \frac{\text{B.T.U.}}{0.252 \text{ Kcal}}}{\frac{\text{lb}}{0.4536 \text{ Kg}}} = \frac{20,900 \frac{\text{B.T.U.}}{\text{lb}}}{1}$$

e) Cálculo del gasto de combustible teórico:

Q_t = calor total

$$Q_t = 2.502 \text{ por } 10^5 \frac{\text{B.T.U.}}{\text{h}} + 8.6252 \text{ por } 10^4 \frac{\text{B.T.U.}}{\text{h}} + 1.382 \text{ por}$$

$$10^4 \frac{\text{B.T.U.}}{\text{h}} = 3.505 \text{ por } 10^5 \frac{\text{B.T.U.}}{\text{h}}$$

$$\text{Gasto de combustible} = \frac{\text{Calor total}}{\text{poder calorífico del gas}}$$

$$= \frac{3.505 \text{ por } 10^5 \frac{\text{B.T.U.}}{\text{h}}}{2.09 \text{ por } 10^5 \frac{\text{B.T.U.}}{\text{h}}} = \frac{1433 \frac{\text{lb}}{\text{h}}}{1}$$

f) Consumo de aire:

De la tabla 1-3 encontramos el gasto de aire teórico de cada componente del gas natural.

1 M³ de CH₄ necesita 10.52 M³ de aire

1 M³ de C₂H₆ necesita 18.6 M³ de aire

En este caso, los constituyentes combustibles del gas natural son: un 84.5 % de metano y 11.5 % de etano, por consecuencia, el gasto de aire teórico es:

$$\begin{aligned} \text{Gasto de aire químico} &= \frac{10.52 \text{ M}^3 \text{ por } 84.5}{100} + \frac{18.52 \text{ M}^3 \text{ por } 11.5}{100} \\ &= \underline{11.84 \text{ M}^3} \end{aligned}$$

Como las condiciones optimas es trabajar con un 25 % de ---

exceso, entonces:

$$\frac{\text{Gasto de aire real}}{1 \text{ M}^3 \text{ de gas}} = 11.84 \text{ M}^3 + 11.84 \text{ M}^3 \text{ por } 0.25$$

$$= 14.70 \text{ M}^3$$

$$1 \text{ M}^3 \text{ de gas} = 0.79 \text{ Kg}$$

$$1 \text{ M}^3 \text{ de aire} = \text{Número de Kg Mol por P.M.}$$

$$= 0.0446 \text{ Kg Mol por } 29.15 \text{ Kg/Kg Mol} = 1.292 \text{ Kg}$$

Donde:

$$\frac{\text{Gasto de aire real}}{1 \text{ Kg de combustible}} = \frac{14.70 \text{ por } 1.292 \text{ Kg}}{0.79} = 24.1 \text{ Kg}$$

$$\frac{\text{Gasto de aire real}}{1 \text{ lb. de combustible}} = 24.1 \text{ lb}$$

Como el gasto de combustible es $14.33 \frac{\text{lb}}{\text{h}}$, luego:

$$\text{Gasto de aire real} = 14.33 \frac{\text{lb}}{\text{h}} \text{ por } 24.1 = 334 \frac{\text{lb}}{\text{h}}$$

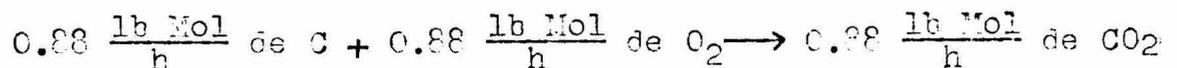
g) Pérdidas de calor de los gases de combustión:

Pérdidas producidas por el CO₂ formado



$$\% \text{ de carbón en el combustible} = 73.7$$

$$\text{Número de moles de C} = \frac{10.53 \text{ Yb/h}}{12 \text{ Yb/lb Mol}} = 0.88 \frac{\text{lb Mol}}{\text{h}}$$



$$C_{pm} = \int_{t_1}^{t_2} \frac{C_p dt}{t_2 - t_1}$$

Cpm = Capacidad calorífica media del CO₂ = ?

t₁ = Temperatura inicial del CO₂ = 77 °F

t₂ = Temperatura final = 392 °F

Cp = Capacidad calorífica del CO₂ = a + bt + ct² = 8.746 + 4.646 por 10⁻³t - 1.05 por 10⁻⁶ t²

Con el valor de Cp = a + bt + ct²

$$C_{pm} = \int_{t_1}^{t_2} \frac{(a + bt + ct^2) dt}{t_2 - t_1}$$

$$= \frac{1}{t_2 - t_1} \left[a(t_2 - t_1) + \frac{1}{2}b(t_2^2 - t_1^2) + \frac{1}{3}c(t_2^3 - t_1^3) \right]$$

$$= a + \frac{1}{2}b(t_1 + t_2) + \frac{1}{3}c(t_1^2 + t_1 t_2 + t_2^2)$$

Sustituyendo valores:

$$C_{pm} = 8.766 + \frac{1}{2}4.646 \text{ por } 10^{-3} \text{ por } 469 + \left(-\frac{1}{3} \text{ por } 1.05 \text{ por } 10^{-6} \text{ por } 18.89 \text{ por } 10^4\right)$$

$$= 8.838 \frac{\text{B.T.U.}}{\text{lb Mol } ^\circ\text{F}}$$

$$Q_a = M C_{pm} \Delta t$$

Q_a = Calor sensible del CO₂ = ?

$$M = \frac{\text{lb Mol}}{h} \text{ de CO}_2 = 0.88 \frac{\text{lb Mol}}{h}$$

$$C_{pm} = 8.838 \frac{\text{B.T.U.}}{\text{lb Mol } ^\circ\text{F}}$$

$$\Delta t = \text{Diferencia de temperatura} = (392 ^\circ\text{F} - 77 ^\circ\text{F}) = 315 ^\circ\text{F}$$

Efectuando operaciones:

$$Q_a = 0.88 \frac{\text{lb Mol}}{\text{h}} \text{ por } 8.838 \frac{\text{B.T.U.}}{\text{lb Mol } ^\circ\text{F}} \text{ por } 315 ^\circ\text{F}$$

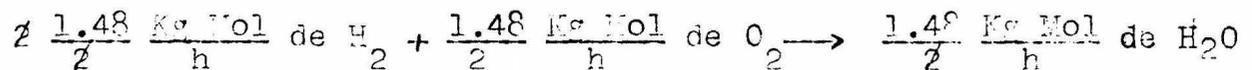
$$= 2,560 \frac{\text{B.T.U.}}{\text{h}}$$

Pérdidas de calor producidas por el vapor de agua formado:



% de hidrógeno en el gas natural = 23.5

$$\text{Número de moles de H}_2 = \frac{1.48 \text{ Kg/h}}{2 \text{ Kg/Kg Mol}} = \frac{1.48 \text{ Kg Mol}}{2 \text{ h}}$$



$$C_{pm} = a + \frac{1}{2}b(t_1 + t_2) + \frac{1}{3}c(t_1^2 + t_1 t_2 + t_2^2)$$

C_{pm} = Capacidad calorífica media del vapor de agua = ?

a = Primera constante de la capacidad calorífica del agua

$$= 7.219$$

b = Segunda constante = $2.374 \text{ por } 10^{-3}$

c = Tercera constante = $0.267 \text{ por } 10^{-3}$

t_1 = Temperatura inicial = $298 ^\circ\text{K}$

t_2 = Temperatura final = $473 ^\circ\text{K}$

$$C_{pm} = 7.219 + \frac{1}{2}2.374 \text{ por } 10^{-3} \text{ por } 771 + \frac{1}{3}2.67 \text{ por } 10^{-3} \text{ por } -$$

$$4.5 \text{ por } 10^5$$

$$C_{pm} = 8.169 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg Mol } ^\circ\text{K}}$$

$$Q_b = M C_{pm} \Delta t$$

$Q_b =$ Calor sensible del vapor de agua = ?

$$M = \frac{\text{Kg Mol}}{h} \text{ de vapor de agua} = 1.48 \frac{\text{Kg Mol}}{h}$$

$$C_{pm} = 8.169 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg Mol } ^\circ\text{K}}$$

$$\Delta t = \text{Diferencia de temperatura} = 175 ^\circ\text{K}$$

Sustituyendo datos:

$$Q_b = 1.48 \frac{\text{Kg Mol}}{h} \text{ por } 8.169 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg Mol } ^\circ\text{K}} \text{ por } 175 ^\circ\text{K}$$

$$= 21.1 \text{ por } 10^2 \frac{\text{Kcal}}{h}$$

$$= 8,700 \frac{\text{B.T.U.}}{h}$$

Pérdidas producidas por el O_2 insuflado en exceso

El 25% del aire inyectado queda sin reaccionar, por tanto:

$$\text{Aire en exceso} = 66.8 \frac{\text{lb}}{h} = 30.327 \frac{\text{Kg}}{h}$$

El aire contiene 21% de O_2 , por consiguiente:

$$\text{O}_2 \text{ en exceso} = 30.327 \frac{\text{Kg}}{h} \text{ por } 0.21 = 6.368 \frac{\text{Kg}}{h}$$

$$\text{Número de moles de } \text{O}_2 = \frac{6.368 \frac{\text{Kg}}{h}}{32 \frac{\text{Kg}}{\text{Mol}}} = 0.199 \frac{\text{Kg Mol}}{h}$$

$$C_{pm} = a + \frac{1}{2}b(t_1 + t_2) + \frac{1}{3}c(t_1^2 + t_1 t_2 + t_2^2)$$

C_{pm} = Capacidad calorífica media del O_2 = ?

$$a = 6.095$$

$$b = 3.253 \text{ por } 10^{-3}$$

$$c = -1.017 \text{ por } 10^{-6}$$

$$t_1 = 298 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$t_2 = 473 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$C_{pm} = 6.095 + \frac{1}{2}3.253 \text{ por } 10^{-3} \text{ por } 771 - \frac{1}{3}1.017 \text{ por } 10^{-6} \text{ por } 4.51 \text{ por } 10^5$$

$$= 7.205 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg Mol } ^\circ\text{K}}$$

$$Q_c = M C_{pm} \Delta t$$

Q_c = Calor sensible del O_2 en exceso = ?

$$M = \frac{\text{Kg Mol}}{h} \text{ de } O_2 = 0.199 \frac{\text{Kg Mol}}{h}$$

$$C_{pm} = 7.205 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg Mol } ^\circ\text{K}}$$

$$\Delta t = 175 \text{ } ^\circ\text{K}$$

Efectuando operaciones

$$Q_c = 0.99 \frac{\text{Kg Mol}}{h} \text{ por } 7.205 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg Mol } ^\circ\text{K}} \text{ por } 175 \text{ } ^\circ\text{K} = 251 \frac{\text{Kcal}}{h}$$

$$= 995 \frac{\text{B.T.U.}}{h}$$

Pérdidas por el N_2 contenido en el aire

$$\text{Gasto de aire} = 334 \frac{\text{lb}}{h} = 187 \frac{\text{Kg}}{h}$$

% de N_2 en el aire = 78%

Total de N_2 insuflado = $145.5 \frac{Kg}{h}$

$$\text{Número de moles de } N_2 = \frac{145.5 \frac{Kg}{h}}{28 \frac{Kg}{Mol}} = 5.19 \frac{Kg Mol}{h}$$

$$C_{pm} = a + \frac{1}{2}b(t_1 + t_2) + \frac{1}{3}c(t_1^2 + t_1 t_2 + t_2^2)$$

C_{pm} = Capacidad calorífica media del N_2 = ?

$$a = 6.449$$

$$b = 1.413 \text{ por } 10^{-3}$$

$$c = -0.0807 \text{ por } 10^{-6}$$

Sustituyendo datos y eliminando la constante c por pequeña, tenemos:

$$C_{pm} = 6.449 + \frac{1}{2}1.413 \text{ por } 10^{-3} \text{ por } 771 = 6.993 \frac{Kcal}{Kg Mol ^\circ K}$$

$$Q_d = M C_{pm} \Delta t$$

Q_d = Calor sensible del N_2 presente en el aire = ?

$$M = \frac{Kg Mol}{h} \text{ de } N_2 = 5.19 \frac{Kg Mol}{h}$$

$$C_{pm} = 6.993 \frac{Kcal}{Kg Mol ^\circ K}$$

$$\Delta t = 175 ^\circ K$$

$$Q_d = 5.19 \frac{Kg Mol}{h} \text{ por } 6.993 \frac{Kcal}{Kg Mol ^\circ K} \text{ por } 175 ^\circ K$$

$$= 63.2 \text{ por } 10^2 \frac{Kcal}{h} = 2.501 \text{ por } 10^4 \frac{B.T.U.}{h}$$

Para encontrar el calor total perdido por los gases de combustión; sumamos las pérdidas parciales de estos;

$$\begin{aligned}
 Q_{tsgc} &= Q_a + Q_b + Q_c + Q_d \\
 &= \frac{\text{B.T.U.}}{h} (0.256 \text{ por } 10^4 + 0.87 \text{ por } 10^4 + 0.0995 \text{ por } 10^4 + \\
 &2.501 \text{ por } 10^4) = 3.726 \text{ por } 10^4 \frac{\text{B.T.U.}}{h}
 \end{aligned}$$

En una hora se suministran 14.33 libras, luego:

$$Q_{tsgc} = \frac{3.726 \text{ por } 10^4 \frac{\text{B.T.U.}}{h}}{14.33} = \frac{2.6 \text{ por } 10^4 \frac{\text{B.T.U.}}{lb}}{1b}$$

h) Calor neto que suministra el combustible:

$$Q_{nc} = P_{cc} - Q_{tsgc}$$

$$Q_{nc} = \text{Calor neto que suministra el combustible} = ?$$

$$P_{cc} = \text{Poder calorífico del gas natural} = 20,900 \frac{\text{B.T.U.}}{lb}$$

$$Q_{tsgc} = 2,600 \frac{\text{B.T.U.}}{lb}$$

$$Q_{nc} = 20,900 \frac{\text{B.T.U.}}{lb} - 2,600 \frac{\text{B.T.U.}}{lb} = 18,300 \frac{\text{B.T.U.}}{lb}$$

i) Cantidad de combustible que realmente se necesita:

$$\text{Cantidad de combustible real} = \frac{Q_t}{Q_{nc}}$$

$$= \frac{3.505 \text{ por } 10^5 \frac{\text{B.T.U.}}{h}}{1.83 \text{ por } 10^5 \frac{\text{B.T.U.}}{lb}} = 19.2 \frac{lb}{h}$$

j) Observaciones:

El consumo de combustible y aire requerido para efectuar la combustión, esta en relación directa con la carga del horno y -- temperatura con que se opere.

Los cálculos realizados se efectuaron para una carga máxima y temperatura, (454 Kg. y 1,300 °C). Por consiguiente, al alterrar estos datos, el gasto de combustible y aire varia.

5 - Operación del horno:

Generalidades

Una vez concluida la construcción del horno el calentamiento inicial debe ser lento, ya una vez que el mortero refractario se ha cocido, la operación se puede efectuar con mayor rapidez, pero sin olvidar que los recipientes a procesar, requieren un -- buen control de temperatura.

En este horno es necesario proporcionar mucho calor a tem-- peraturas altas, además, cuidar que los objetos que esten cerca de la flama sean los de mayor densidad, para que su cocimiento - sea proporcional a los de toda la carga, Si los materiales que estan en contacto directo con el fuego se ven afectados, se aconseja cubrir esta zona de combustión con unas placas de sillimanita que tienen la función de homogeneizar la temperatura.

Operación

Antes de encender los quemadores, como precaución se debe - tener las puertas del horno abiertas. Una vez cargado el horno y encendido los quemadores, se cierra las puertas: los gases de combustión generados por los quemadores, Fig. 2-3 (a), chocan -- con la bóveda y se ven impelidos a salir por la parte inferior,

Fig. 2-4 (a), pasando por unos ductos, Fig. 2-9 (b), desembocando en el segundo compartimiento, Fig. 2-5 (b), estos gases accionan con los generados por el quemador, Fig. 2-5 (a), a la parte superior de la segunda cámara, chocan con la bóveda y al igual -- que en el primer caso, se ven impelidos a salir por la parte inferior, Fig. 2-6 (a), viajando después por otros ductos, Fig. 2-9 (b'), descargando sus productos de combustión en el recuperador de calor, Fig. 2-7 (c) y 2-8 (f), circulan en el intercambiador de calor en forma de zig-zag, Fig. 2-8 (c) y (d), y salen por la chimenea, Fig. 2-7 (b) y 2-8 (e). El aire que se le inyecta a los quemadores con un soplador, Fig. 2-7 (a) y 2-8 (a), es precalentado al pasar por el recuperador de calor, Fig. 2-8 (b), pasa por la tubería, Fig. 2-9 (d), y desemboca en los quemadores.

El procedimiento a seguir en la elaboración de piezas de alfarería, generalmente consiste en dos etapas:

a) Un horneado para sancochar los materiales cerámicos. -- Procedimiento que consiste en eliminar el agua de cristalización de las piezas de arcilla, obteniéndose objetos, con adecuada resistencia mecánica.

b) Un cocimiento adecuado, cerca al punto de vitrificación de la arcilla, de modo que los productos obtenidos, sean lo menos porosos posibles y buena resistencia.

La segunda cámara se carga con materiales que van a pasar -- por la primer etapa de calentamiento, concluido esto, los recipientes cerámicos que recibieron el primer tratamiento se depositan en la primera cámara, y a la vez los materiales que van a recibir la primer etapa de cocimiento, se cargan en el segundo com-

partimiento. Asi, el proceso continua en forma intermitente y se obtienen productos terminados, por cada horneada efectuada.

Conclusiones

Este horno, tiene mayor eficiencia que los hornos tradicionales de alfarería, ya que utiliza un mejor aislamiento térmico con el consecuente ahorro de combustible. Por otro lado el sistema de doble cámara y el recuperador de calor, permite un mejor aprovechamiento de la energía.

Otra de las ventajas de este diseño es un tiro invertido con con lo cual se logra una convección forzada de los gases de combustión y por otro lado los gradientes de temperatura dentro del horno son mínimos.

Desde el punto de vista de producción, se logra obtener en -- una sola operación, las dos etapas que generalmente se necesitan - en la producción de artículos cerámicos, el sancocho o primer cocimiento y el esmaltado o segundo cocimiento.

Por otro lado el diseño y equipo son de tecnología sencilla, de tal forma que pueden ser desarrollados en el medio rural que es donde el problema de la alfarería es crítico. El uso de gas combustible en este caso, viene a aligerar el grave problema de la -- deforestación, además de las técnicas que aporta a la calidad de los artículos cerámicos.

Bibliografía

- 1- G. Viniegra, R. Escobar; Salud Pública de México, Vol VIII, -
No 1, Ene-Feb 1966 (69)
- 2- Jean Libman Block; The accident that saved five lives; Good
House Keeping, Nov 1968
- 3- R. García Icah; Centro de Información del Zinc y Plomo A.C. --
1970
- 4- S. Cendejas Huerta, A. Diaz Gonzales; Estudios no publicados;
Centro de Investigación de Materiales, (U.N.A.M.) 1972
- 5- Delmar W. Olson and Federico F. Costales; Ceramics for Schools
and Industry in developing Countries 1970
- 6- Nagoya International Training Center , Overseas Technical Coope-
ration Agency, Japan; Ceramic Engineering September 1972
- 7- Samuel Glasstone; Thermodynamics for Chemists 1960
- 8- Samuel H. Meron, Carl F. Prutton; Principles of Physical Che--
mistry 1958
- 9- Mc. Adams; Heat Transmission Mc. Grau. Hill 1956
- 10- John H. Perry; Chemical Engineers' Handbook, fourth edition
- 11- E. Galvet; Química General Aplicada a la Industria con practi-
cas de laboratorio 1956 (Tomo III)
- 12- Brown George Gronger; Unit Operations 1956
- 13- Kern, Donal Quentin; Process Heat Transfer 1950