

ESCUELA NACIONAL DE INGENIEROS

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA QUIMICA

F A B R I C A D E V I D R I O P R E N S A D O

PROYECTO DE GRADO

Presentado por el Ex-Alumno

JACOBO G. RUB

Promoción, 1946

I N D I C E

Título	Páginas
I.- GENERALIDADES	1
II.- MANUFACTURA DEL VIDRIO.....	5
III.- DISEÑO DE LA PLANTA.....	12
IV.- MATERIA PRIMA.....	13
V.- HORNO	22
VI.- CALENTAMIENTO DEL HORNO.....	59
VII.- REGENERADORES	77
VIII.- CONDUCTOS PARA LOS GASES.....	92
IX.- ALIMENTADORES.....	104
X.- MAQUINAS PARA EL PRENSADO.....	106
XI.- CAMARA DE TEMPLADO.....	112
XII.- ELEMENTOS AUXILIARES.....	114
XIII.- LOCACION DE LA PLANTA.....	116
XIV.- LISTA DE MATERIALES DE CONSTRUCCION.....	117
XV.- ESTUDIO ECONOMICO DEL PROYECTO.....	123

C A P I T U L O I

GENERALIDADES

HISTORIA

El vidrio ha sido utilizado por el hombre desde tiempos muy primitivos. Objetos moldeados a mano a partir de vidrio natural se usaban para puntas de flecha y como instrumentos de corte.

La manufactura de vidrio comenzó hace varios miles de años, desconociéndose a sus descubridores, que se supone sean los fenicios o los egipcios. Bastante más tarde apareció el vidrio soplado y fué este descubrimiento el que hizo progresar la manufactura del vidrio en cantidad y calidad.

En la Edad Media hubo un gran desarrollo de la fabricación del vidrio en Venecia, la que luego se propagó a otros países. Si bien el desarrollo en la producción fué intenso, los conocimientos técnicos en toda esta época eran empíricos en su totalidad y eran a base de experiencia transmitida de generación en generación. El único adelanto de carácter químico fué conceder la debida importancia a la pureza de las materias primas y la fabricación de carbonato de sodio a partir de algas marinas. En cuanto a combustibles se usó todo este tiempo madera habiéndose introducido en el siglo XVII el carbón en Inglaterra, con buen éxito.

Pero, es recién el siglo actual que junto con el adelanto de todas las ciencias y las industrias ha visto el desarrollo de la industria del vidrio. El requerimiento de vidrios especiales y de vidrios ópticos, sobre todo, obligó a un detenido estudio de las propiedades físicas y químicas del vidrio y de la influencia que ejercen los diversos componentes. Asimismo se buscó nuevas materias

primas.

Como consecuencia del advenimiento de los aparatos mecánicos de producción y por consiguiente de la necesidad de alimentar a estas máquinas en forma constante y con un vidrio parejo obligó a la creación de horno de trabajo continuo y de dispositivos para asegurar la alimentación a la máquina de moldeo de un vidrio de composición química y temperatura invariables.

Esto se ha logrado en gran parte, debido a la labor de numerosos químicos e ingenieros y la industria del vidrio ha llegado a ser una industria modernizada en todos sus aspectos y que produce artículos de gran importancia en la vida diaria.

CONSTITUCION DEL VIDRIO

Hay varias definiciones del vidrio, casi todas ellas un poco vagas por cuanto tratan de definirlo por su composición química o sus características físicas. Una de las definiciones más precisas es la que da Morey en su libro "Properties of Glass" (Ref.1):

"Un vidrio es una sustancia inorgánica en una condición tal que es continua con, y semejante al, estado líquido de esa sustancia, pero el cual, a resultas de haber sido enfriado desde la condición de fusión, ha adquirido un grado de viscosidad tan alto que se le considera rígido para todo propósito práctico".

La propiedad de formar vidrio es poseída por diferentes sustancias en grados bastante variables. Entre ellas se puede mencionar elementos tales como el Selenio y el Teluro y algunas sales minerales como el Fluoruro de Berilio. Pero la mayoría de los vidrios pueden considerarse como constituidos por óxidos y la posibilidad de la formación del vidrio puede ser relacionada con los átomos de Oxígeno.

Los principales óxidos que forman vidrio son: B_2O_3 , SiO_2 ,

B_2O_5 de los cuales los dos primeros son los más usados. En general se puede decir que el SiO_2 es la base de los vidrios comerciales.

Vidrios comerciales

El requerimiento esencial de un vidrio comercial es que sea lo suficientemente fluido a una temperatura industrialmente accesible para ser fundido en gran escala y lo suficientemente viscoso para ser trabajado encima de su punto de solidificación de modo que no pueda tener lugar la devitrificación.

Si no fuera difícil, de fundir cuarzo, de liberarlo de las burbujas, y de trabajarlo, éste llenaría la mayoría de los fines para los cuales el vidrio es fabricado, pues el óxido de sílice produce un vidrio de propiedades altamente ventajosas como son: ausencia de devitrificación, resistencia al ataque del agua y de los ácidos y bajo coeficiente de expansión.

La dificultad para fundir cuarzo hace imposible el uso del vidrio de éste material, solo, para propósitos generales y por ello se hace necesario agregar otros óxidos que sirvan de fundentes para la sílice y para reducir la viscosidad.

El fundente más eficaz para la sílice es el óxido de sodio que usualmente se obtiene a partir del carbonato de sodio. La fusión de estos dos elementos forma los llamados silicatos solubles por ser fácilmente solubles en agua. Por esto se hace necesario agregar algún otro óxido que dé mayor durabilidad química. El más eficaz y barato es el de calcio.

Además de la proporción que se escoge para integrar un vidrio a base de estos tres componentes, en los vidrios industriales se consideran algunos otros ingredientes que entran en pequeña proporción para mejorar alguna propiedad específica o en algunos casos

cuando se trata de alguna materia prima que contiene una considerable impureza pero la cual no es contraproducente, como por ejemplo cuando se usa dolomita, que dá un vidrio con Oxido de magnesio.

LA INDUSTRIA DEL VIDRIO EN EL PERU

La industria del vidrio es una de las que tienen mayor desarrollo en el país actualmente. Varias fábricas que empezaron a funcionar con hornos periódicos pequeños y trabajando con vidrio soplado a mano han logrado gran desarrollo debido al gran excedente del consumo sobre la producción del país lo cual dió lugar a que productos, aún de no muy buena calidad, encontraran facil mercado. Estas fábricas y otras nuevas hoy con lineamientos modernos funcionan en Lima y alrededores, mejorando la calidad y aumentando la diversidad de productos producidos.

Las principales fábricas, sin embargo, han dado preferencia a la producción de botellas y envases en general y solo algunas pequeñas plantas producen otros tipos de vidrio. Queda aún así un amplio mercado para ser establecido su abastecimiento en el campo de objetos de vidrio para la mesa y para escritorio y en general objetos de vidrio para usos diversos, todos los cuales se pueden fabricar por máquinas que trabajen el vidrio por el método del prensado. Los vidrios prensados tienen múltiples usos incluso el vidrio para construcciones, el cual tiene el mismo método de fabricación y templado que los demás vidrios de este tipo, salvo que requiere un método especial para una parte del proceso.

Actualmente existen en el país, productos de vidrio prensado nacionales pero su volumen es pequeño y aún no existe una producción en gran escala y de primera calidad.

C A P I T U L O I I

MANUFACTURA DEL VIDRIO

De la definición de lo que es un vidrio se deduce que la fabricación misma debe partir de un líquido, que luego se enfría en condiciones determinadas para poder ser trabajado (moldeado) y luego se termina de enfriar hasta alcanzar la temperatura ambiente. El segundo enfriamiento tiene gran importancia pues en él debe evitarse tensiones en la masa que se está enfriando. Este enfriamiento se llama templado.

La fabricación tendrá, pues, tres pasos importantes:

- 1.- Fusión de los componentes.
- 2.- Fabricación de los objetos de vidrio.
- 3.- Templado y enfriamiento.

Además de estas etapas esenciales habrá que tener en cuenta los elementos auxiliares para aumentar la eficiencia o facilitar las operaciones mencionadas y obtener un producto de mayor calidad.

Fusión de los componentes.

La fusión se efectúa generalmente en hornos de diseño particular para la industria del vidrio denominados en inglés "tank furnaces". La traducción de esta palabra (tank) es un poco difícil de hacer y la palabra española que más da entender su significado es "tina". Este nombre se debe a que el vidrio líquido está contenido en una especie de gran vasija o tina de material refractario.

Los hornos "tank" son los que se usan casi en forma exclusiva para toda clase de vidrio excepto para algunos vidrios especiales o para vidrios ópticos. que se fabrican en crisoles.

El desarrollo de los hornos para vidrio siguió en forma paralela al progreso que tomaba la industria metalúrgica. El primer

paso hacia el horno actual lo constituyó el horno periódico o del día en el cual se hace la fusión de la mezcla en la noche y el vidrio es trabajado durante el día. Estos hornos aparecieron a fines del siglo pasado.

Años más tarde apareció el horno actual que se caracteriza por el trabajo continuo y por tener dos compartimientos.

En líneas generales se puede describir las funciones de cada compartimiento de la manera siguiente: el primer compartimiento contiene el vidrio fundido en su más alta temperatura y es allí donde se introduce la mezcla que forma el vidrio. Esta mezcla aumenta de temperatura y luego los integrantes de ella quedan convertidos en una masa de vidrio groseramente homogénea y llena de burbujas. La expulsión de estas burbujas es la operación de refinamiento que se lleva a cabo en el mismo compartimiento. En realidad no hay ninguna separación material de estas dos zonas distinguiéndose en los hornos bien operados por una línea transversal en la superficie del vidrio que marca el punto en que está el vidrio degasificado.

El segundo compartimiento tiene por objeto dejar enfriar el vidrio para alcanzar la temperatura de trabajo. También ayuda a una mayor homogeneización de toda la masa.

La separación de los dos compartimientos se consigue con una pared doble denominada puente. Este puente tiene un pasaje en su parte central e inferior para permitir el paso del vidrio de una parte a la otra del horno. (En algunos hornos el puente es reemplazado por flotadores o por estrechamientos en el horno). Sobre el puente se levanta una malla de ladrillos que sirve para obstruir el paso de los gases calientes, limitando así la cámara de combustión a la parte que queda encima de la zona de fusión.

Características de estos hornos:

Un horno de este tipo se clasifica según el combustible usado, según el tipo de llama y la forma de recuperación de calor.

Combustible: el más frecuente es el combustible gaseoso ya sea gas natural o gas de generador; también se usa mucho el petróleo para el calentamiento en esta clase de hornos. En el Perú, el petróleo es, por supuesto, el combustible más apropiado.

Según la manera en que se desarrolla la llama se distinguen dos tipos: el de llama transversal y el de llama en herradura.

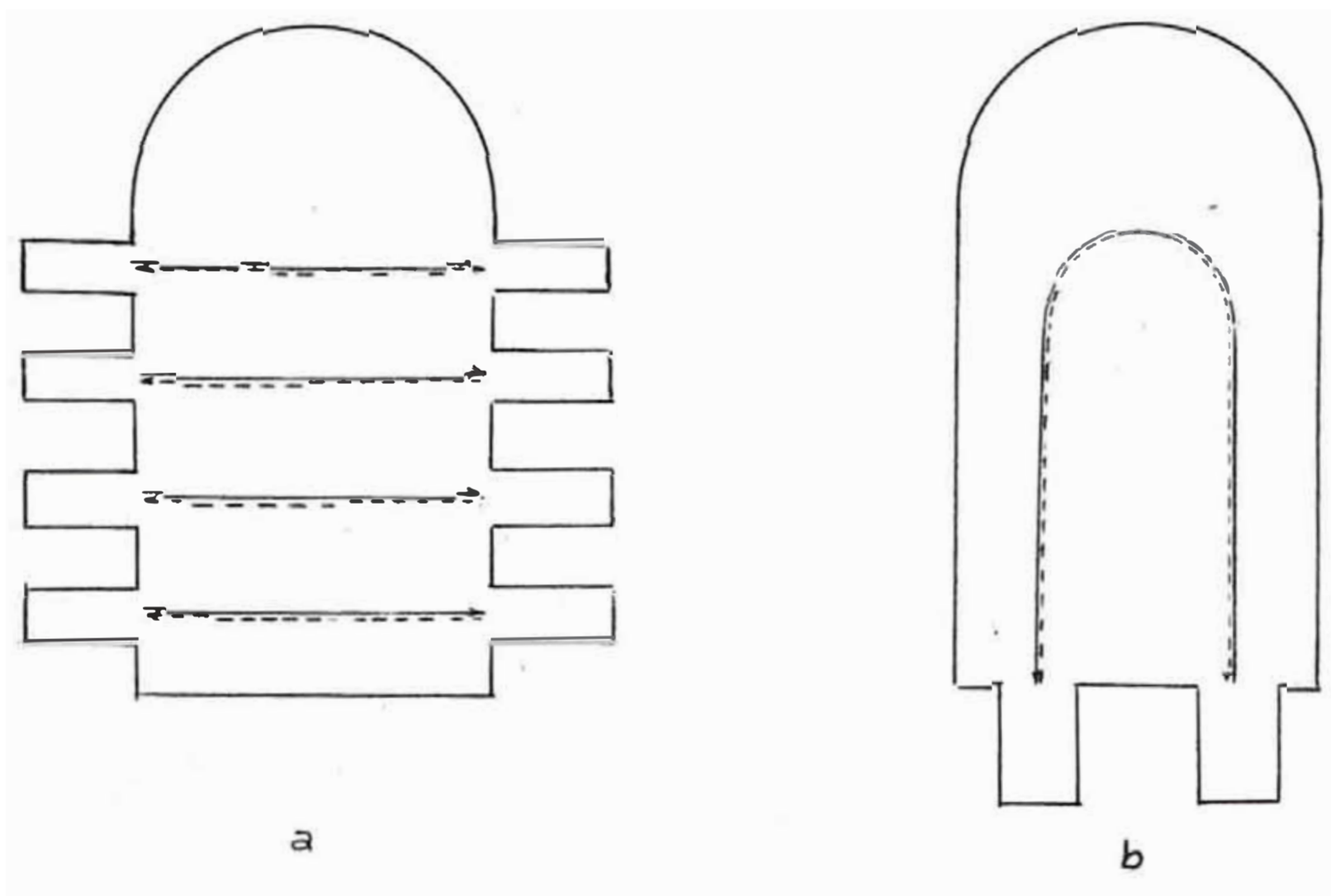


Fig. 1 - Tipos de horno

En el primer tipo los combustibles y el aire entran por una pared lateral del horno y después de atravesar el ancho del horno salen por las aberturas correspondientes en la pared opuesta. (Fig.1-a.)

En el segundo tipo los combustibles y el aire entran por la pared posterior del compartimiento o zona de fusión y después de barrer todo el largo del horno regresan para salir por una abertura situada en la misma pared al lado de la anterior. (Fig.-1-b).

(Cuando se usa el sistema de regeneración de calor, a intervalos regulares las bocas de entrada se convierten en salidas y viceversa).

La ventaja del primer tipo de llama es una mejor distribución de la temperatura a lo largo del horno. Sin embargo, ésta importante ventaja no puede ser utilizada en los hornos chicos quemados con petróleo pues requieren un ancho de 16' o más para trabajar sin causar serias averías en la pared de salida.

La llama en herradura tiene también varias ventajas como son: una llama más larga, los productos de la combustión permanecen más tiempo en el horno, los costados del horno son más fáciles de construir o reparar, el espacio de erección es menor.

La implantación de sistemas de recuperación de calor se ha hecho universal para los hornos de mediana y grande producción. La recuperación de calor no solo consigue una economía de combustible sino que da mayor facilidad para conseguir temperaturas más altas. La recuperación de calor se puede efectuar por dos métodos: la recuperación y la regeneración. La recuperación ofrece la ventaja de su menor costo de instalación y de no tener necesidad de cambios de válvula como los regeneradores. Sin embargo tiene serios inconvenientes como son: se obstruye más fácilmente con el polvo, la eficiencia se reduce bastante en periodos de campaña largos y por último es siempre difícil conseguir juntas perfectas entre las diferentes piezas del recuperador sobre todo en conjuntos grandes.

El sistema de regeneración de calor se ha impuesto por eso en casi todos los hornos grandes, habiendo permanecido el recuperador en algunos hornos antiguos y en los hornos pequeños.

2.- Fabricación de los objetos de vidrio.

La fabricación por prensado se efectúa en máquinas de gran eficiencia y en la cual toda la operación se hace prácticamente sin labor humana. Una máquina necesita un operador con fines de control y de lubricación.

La máquina está diseñada para cierta temperatura y viscosidad de vidrio y como durante el trabajo está regulada para condiciones específicas es preciso que estas condiciones se mantengan constantes. La viscosidad del vidrio debe ser suficiente para mantener la forma que se le comunique pero no tanto que requiera demasiado presión para su moldeo.

La necesidad de controlar no solo estas propiedades sino también el peso de la gota de vidrio que se emplea para cada pieza fabricada ha hecho surgir los alimentadores automáticos.

El alimentador lo forma un sistema de una aguja que empuja el vidrio con una cierta presión y una tijera que corta la "gota" en un tiempo regulado para dar el peso del artículo que se está fabricando. Generalmente estos alimentadores forman un conjunto con un canal de alimentación que está aislado y que dispone de quemadores para regular la temperatura.

Estas gotas de vidrio son recogidas por cada molde de la máquina al pasar debajo del alimentador. El mecanismo de alimentación y la máquina están coordinados por un mecanismo llamado el "timer".

3.- Templado.-

El vidrio de la máquina pasa a la cámara de templado.

Cuando el vidrio está enfriándose, como este enfriamiento es más rápido en la superficie se produce una contracción lo que da lugar a tensión en la parte central. Cuando la temperatura es aún alta

el vidrio sufre dilataciones y contracciones en su masa para hacer frente a estas tensiones hasta eliminarlas. Pero cuando se le sigue enfriando hasta una temperatura llamada "temperatura alta de templado" ocurre que la viscosidad se hace muy grande y se hace difícil eliminar estas tensiones. Por eso el enfriamiento a partir de estas temperaturas debe ser muy lento.

Esta condición subsiste hasta llegar a una temperatura llamada "baja temperatura de templado" en la cual la viscosidad es ya tan grande que las tensiones ya no pueden ser formadas. A partir de esta temperatura el enfriamiento puede hacerse en forma rápida y por el contrario hay que evitar recalentamientos.

Las cámaras de templado deben ser dispuestas de modo de poder regular a voluntad las velocidades de enfriamiento.

Antiguamente se usaba para el templado Kilns, pero actualmente se usa mucho los túneles. De estas templadoras de tunel se distinguen por la forma de quemado pues en unas los gases de los quemadores pasan por el mismo tunel que los artículos y en otros de tipo de mufla estos gases están separados de la cámara o tunel por una pared delgada lo cual tiene la ventaja de una temperatura más pareja.

Los templadores de tunel y calentamiento de tipo mufla son las más usadas actualmente, habiéndose llegado a fabricar tipos standard que convierten el templado en una operación sencilla y fácil de controlar.

4.- Otros elementos importantes.

a).- preparación de la mezcla. Esta es una operación importante pues de ella depende mucho la facilidad de fusión y la calidad del vidrio obtenido. La preparación de la mezcla abarca almacenaje, pesado, transporte hacia el horno y carguío, de la materia prima dentro del horno.

Los aparatos y métodos de trabajo empleados no difieren de la generalidad de estas operaciones, para sólidos finos.

d).- Sistema para la combustión.- Comprende almacenaje del petróleo y su servicio a los quemadores, incluyendo bombas para petróleo y para aire.

c).- Compresoras y Ventiladores.- El moldeo se hace por aire comprimido y este también se utiliza para mover la máquina y el mecanismo alimentador. A veces se usa ventiladores para refrigerar diversas partes del horno expuestas a una gran corrosión.

d).- Controles.- Para obtener las condiciones apropiadas de fusión y de trabajo del vidrio y para una buena eficiencia de la planta, se requiere diversos controles como el control químico o sea el análisis de las materias primas y del vidrio producido, control de temperatura mediante pirómetros y otros como son aparatos de Orsat, medidores etc.

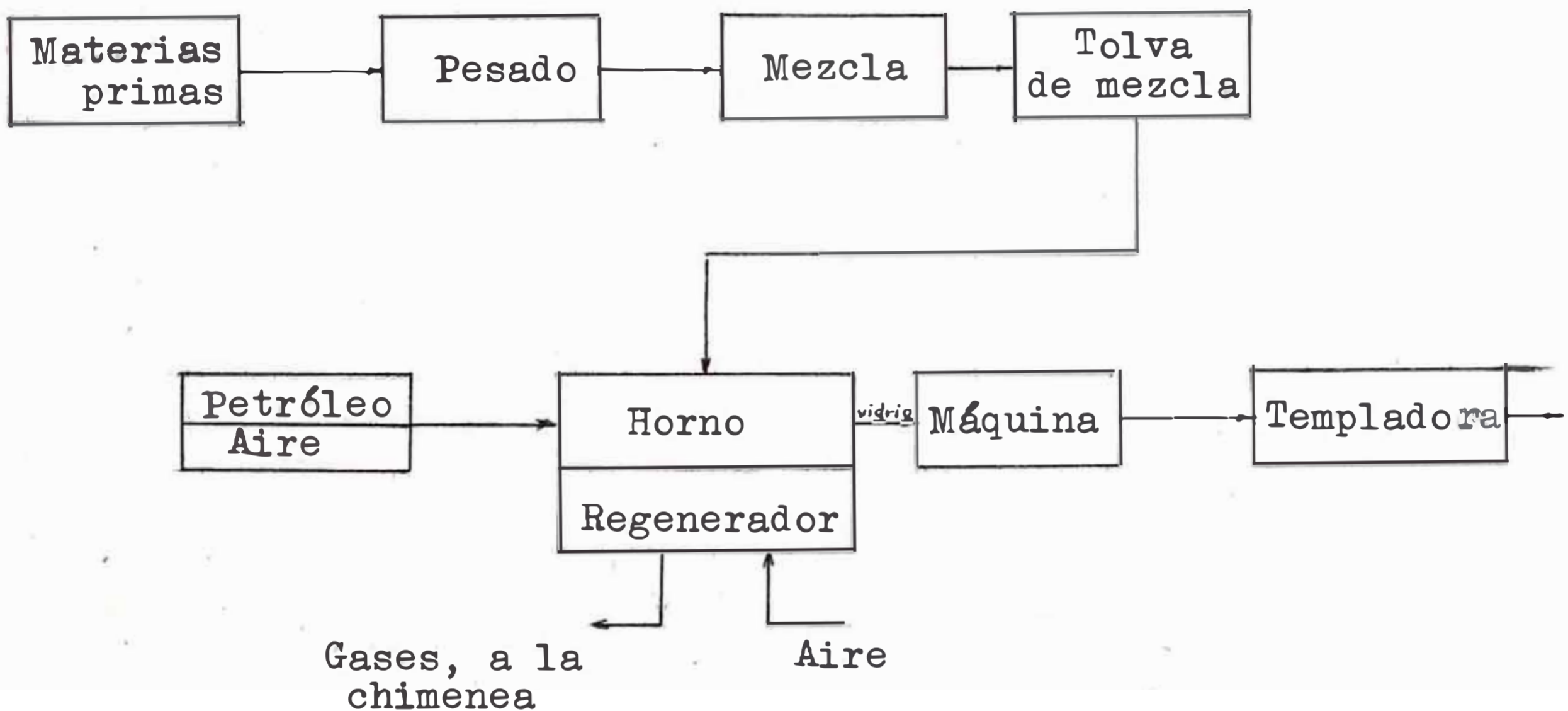
e).- Generador de corriente.- En caso de haber una interrupción en el servicio eléctrico es necesario contar con una fuente de energía eléctrica suficiente para mantener encendido el horno y la templadora, como mínimo, pues un enfriamiento grande en cualquiera de ellos sería muy perjudicial, sobre todo en el horno en el cual el vidrio puede llegar a congelarse.

C A P I T U L O III

DISEÑO DE LA PLANTA

Los lineamientos de la fabricación que se han descrito en las páginas anteriores, se presentan en el siguiente esquema o flow-sheet.

F L O W - S H E E T



La producción es por supuesto más económica cuando se trata de cantidades relativamente grandes (30 a 50 toneladas diarias) pero teniendo en cuenta las limitaciones del mercado, fijaremos la producción en 16 Toneladas diarias.

El diseño tendrá por objeto calcular las dimensiones de los aparatos y los materiales requeridos para la manufactura del vidrio y su transformación, por medio del prensado, en objetos comerciales, siguiendo los pasos señalados en el flow-sheet.

C A P I T U L O I V

MATERIAS PRIMAS

Las materias primas para los diversos vidrios comerciales son prácticamente las mismas es decir que los principales integrantes de la mezcla de la cual se forma el vidrio son la arena, el carbonato de sodio y la cal o el carbonato de calcio.

Arena de sílice. Es el mayor componente en peso y por lo tanto tiene mucha importancia con relación a la locación de la planta. La Sílice constituye generalmente el 70% del vidrio en peso. Por esta misma razón debe ser de gran pureza, pues toda impureza en la Sílice infaliblemente se tiene que notar en el vidrio. Hay dos clases de impurezas: unas como la alúmina que puede provenir de alguna arcilla mezclada con la arena y que hacen la arena más refractaria, sobre todo cuando está en grandes cantidades y comunica al vidrio resultante una mayor viscosidad; otras como el óxido ferroso que en cantidades relativamente pequeñas no afecta las propiedades físicas o químicas de la mezcla pero en cambio le dá al vidrio una coloración verdosa!

Las arenas de primera calidad que se utilizan en el país se encuentran en grandes cerros en el Departamento de Junin. Hay varios proveedores que suministran esta arena, puesta en fábrica en forma constante y regular. La calidad de esta arena es, en varias de las fuentes, de primera. El contenido de Sílice varía de 98 a 99%. Las impurezas son Al_2O_3 de 0.5 a 1.5 y trazas de calcio y magnesio. Esta arena prácticamente no tiene humedad y en los casos en que está humedecida por las lluvias se seca facilmente por simple exposición al aire y al sol.

Carbonato de calcio. Proviene de varias canteras que se explotan en

el Departamento de Lima y su calidad no es tan buena en comparación con la Sílice. Sin embargo como la proporción en que se usa es menor se salva en parte este inconveniente.

En este sentido es conveniente observar que frecuentemente dichas impurezas no son propias del material, sino adquiridas ya sea en el laboreo o en el transporte. Parte de ellas podrían evitarse mejorando los métodos de extracción y limpiando las plataformas de los camiones o los costales en que se almacena la cal.

La cantidad de fierro puede disminuirse depurando la materia prima con electroimán.

Carbonato de sodio.- No hay al presente en el país ninguna fuente de álcali que pueda usarse para la fabricación de vidrio de calidad. En este caso no hay más remedio que recurrir a la importación y como parte del costo de transporte desde el extranjero el precio del carbonato de sodio es mayor que el de la arena y la cal, ocurre que a pesar de que el Carbonato de sodio es sólo el 30% o menos de la mezcla, representa generalmente el 60 o 70% del costo de la materia prima.

En cuanto al producto en sí, el Carbonato de Sodio proveniente del proceso Solvay es de gran pureza y la única impureza que presenta a veces es Cloruro de sodio el cual no ofrece ningún inconveniente, en tales pequeñas cantidades.

Otras fuentes de álcali.- El sulfato de sodio se usa a veces reemplazando parte y a veces todo el carbonato. El sulfato se comporta enérgicamente en su reacción y es muy favorable para obtener altas producciones. El único impedimento para usarlo en gran escala es que los gases que desprende y su reacción violenta corroen en mayor grado los refractarios. Cuando se usa Sulfato se requiere mezclarlo

con 5 a 6% de su peso en Carbón para reducirlo a sulfito. En general una pequeña cantidad de sulfato para el refinamiento es muy ventajoso.

El nitrato de sodio ofrece también varias ventajas como son: su bajo punto de fusión, una reacción con gran desarrollo de burbujas lo cual favorece el refinamiento y encima de todo su poder oxidante que ha sido la principal causa de su uso para oxidar el óxido ferroso a férrico. Tiene en cambio el inconveniente de ser muy corrosivo para los refractarios y de producir vapores muy peligrosos.

Ingredientes menores.- Se denominan menores porque su proporción en peso lo es pero su influencia en mejorar las condiciones de trabajo o del vidrio resultante deben ser muy tomados en cuenta.

Para la fabricación de vidrio prensado, se usa como tal el sulfato de Bario que mejora las propiedades mecánicas del vidrio. El Sulfato de Bario como el de Sodio requiere generalmente una proporción de carbón para su reducción.

Sulfato de Bario de buena calidad es producido en el país. La compañía manufacturera es la "Química Leucos".

PREPARACION DE LA MEZCLA

Cada clase de vidrio o proceso de fabricación tiene una composición de vidrio más adecuada. Esta composición presenta pequeñas variaciones entre las diferentes fábricas según la materia prima disponible. La composición media que se usa para vidrio prensado es la siguiente:

SiO ₂	72.0
Na ₂	15.5
CaO	11.5
BaO	0.5
Al ₂ O ₃	0.5

Para calcular las cantidades de cada materia prima necesaria

La ligera diferencia con el vidrio propuesto se debe a que la arena contiene una cantidad de alúmina mayor y esto se contrarresta en la práctica bajando la proporción de sílice y de calcio. Vidrio roto.- Los cálculos anteriores corresponden a las cantidades de cada materia prima necesarios para producir vidrio a partir de mezcla pura. En la práctica se usa como materia prima una determinada cantidad de vidrio roto, proveniente ya sea del vidrio fallado en la fabricación o el vidrio roto comprado de diversas fuentes. En este caso para prevenir serias dificultades en la fabricación debe usarse solo en fracciones pequeñas.

El vidrio roto aparte de que resulta más barato favorece la fusión de la mezcla siempre que su proporción no sea muy alta. Es frecuente encontrar cantidades variables desde 10 a 40% en las diferentes fábricas. En el Perú hay varios hornos para vidrio cuya materia prima es exclusivamente vidrio roto. Estos hornos pequeños y prácticamente no fabrican vidrio sino que efectúan una segunda fusión.

Para obtener un vidrio de calidad hay que evitar en lo posible usar una materia prima extraña y de composición variable, por lo que consideraremos la proporción de vidrio roto como el 10% de la mezcla total, el cual provendrá en su mayor parte de los objetos defectuosos o rotos durante el proceso de fabricación.

BALANCE DE MATERIA

De la Tabla de la página anterior obtenemos el siguiente resumen:

<u>Material que entra</u>		<u>Productos que salen</u>	
Arena	72.5 lbs.	Vidrio	100 lbs.
Carbonato de calcio	21.3	CO ₂	20.5
Carbonato de sodio	28.45	H ₂ O	2.5
Sulfato de Bario	0.75		
	<u>123.0 lbs.</u>		123.0 lbs.

Esto es para mezcla pura. Considerando el vidrio roto, como 10% del total:

$$\frac{123}{0.9} \times 0.1 = 13.67 \text{ lbs.}$$

Total de mezcla: $123 + 13.67 = 136.67 \text{ lbs.}$

Total de vidrio producido:
 $100 + 13.67 = 113.67 \text{ lbs.}$

Y por 100 lbs. de vidrio:
 $\frac{136.67}{113.67} \times 100 = 120.2 \text{ lbs. (de mezcla con vidrio roto)}$

De esta mezcla: $120.2 \times 0.1 = 12 \text{ lbs, será vidrio roto.}$

Estas 12 lbs. se convierten íntegramente en vidrio, el resto se obtiene a partir de materia prima cruda:

$$100 - 12 = 88 \text{ lbs.}$$

Con este resultado se modifica el Balance de materia:

<u>Material que entra</u>		<u>Material que sale</u>	
Vidrio roto	12.0	Vidrio	100.0 lbs.
Arena	$72.5 \times 0.88 = 63.8$	CO ₂	$20.5 \times 0.88 = 18.0$
Carbonato de calcio	$21.3 \times 0.88 = 18.7$	H ₂ O	$2.5 \times 0.88 = 2.2$
Carbonato de sodio	$28.4 \times 0.88 = 25.0$		
Sulfato de Bario	$0.8 \times 0.88 = 0.7$		
	120.2		120.2

La producción es de 16 Toneladas métricas.

Producción por hora: $\frac{16 \times 2205}{24} = 1470 \text{ lbs.}$

Consumo de materia prima

	<u>Por día</u>	T.M.	Libras
Arena	16×0.638	10.21	22500
Carbonato de calcio	16×0.187	3.00	6600
Carbonato de sodio	16×0.25	3.73	8225
(seco)	1.07		
Sulfato de Bario	16×0.077	0.11	245
Vidrio roto	16×0.12	1.92	4230

La cantidad total de la mezcla es: $16 \times 120.2 = 19.2 \text{ T.M.}$

Cantidad de gases producidos por la reacción

Por hora

			libras	moles
CO ₂	$\frac{1470}{100}$	x 18 =	263	6.0
H ₂ O	$\frac{1470}{100}$	x 2.2 =	32.4	1.8

DEPARTAMENTO DE MEZCLA

El Departamento de Mezcla abarca desde el almacenaje de la materia prima, hasta el carguío de dicha materia prima dentro del horno.

Esta parte de la fábrica no presenta complicaciones de carácter técnico pues las sustancias que se utilizan son sólidos finos y secos y la selección de los aparatos para el pesaje, mezcla y transporte se hace siguiendo los lineamientos generales que dan los manuales para tales sustancias.

Es preferible seleccionar aquellos aparatos de tipos completamente cerrados y asimismo hacer el conjunto mecánico en todas las fases posibles para evitar el manipuleo. Esto se debe a que el polvo de la Sílice puede traer la enfermedad de la silicosis. Además es conveniente construir la Sala de Mezcla en forma independiente de la planta principal y por último que el local que comprende esta sección tenga bastante ventilación.

Mezcladora

Las mezcladoras horizontales son las más usadas para este trabajo. La cantidad total de mezcla es 19.2 Ton. Vamos a sumir que toda la mezcla se va a efectuar durante el día o sea en un periodo de 8 horas.

La mezcla tiene una densidad aparente que puede variar se-

gún la finura del material entre 100 y 125 lbs. por pié cúbico.

El tiempo que se necesita para un buen mezclado en operaciones corrientes varía entre 5 y 10 minutos. Mayor tiempo de mezclado que el preciso no trae ninguna ventaja, haremos pues la asunción de que cada 10' minutos se preparará un lote o "mezcla".

El peso que corresponde a cada mezcla es:

$$\frac{19.2 \times 2205}{8 \times 6} = 882 \text{ lbs.}$$

El volumen es:

$$\frac{882}{100} = 8.8 \text{ pies cúbicos.}$$

Se escogerá una mezcladora de 9-10 pies³.

Balanza

El peso de cada mezcla ya hemos visto que es 882 libras. Esta mezcla se pesa por partes, pero para mayor seguridad escogemos una balanza que dé hasta 1 Tonelada (2200 lbs).

Tolva de Almacenaje.

Como se va preparar la mezcla solamente durante el día hay necesidad de almacenar las 2/3 correspondientes a las otras horas del día.

Para mayor seguridad daremos a la tolva la capacidad suficiente para contener el consumo de un día o sea 20 Toneladas.

La parte inferior de la tolva debe tener una pendiente tal que facilite la caída del material. Este ángulo varía cuando se trata de una mezcla en este caso y también según la humedad; por eso hay que dar un

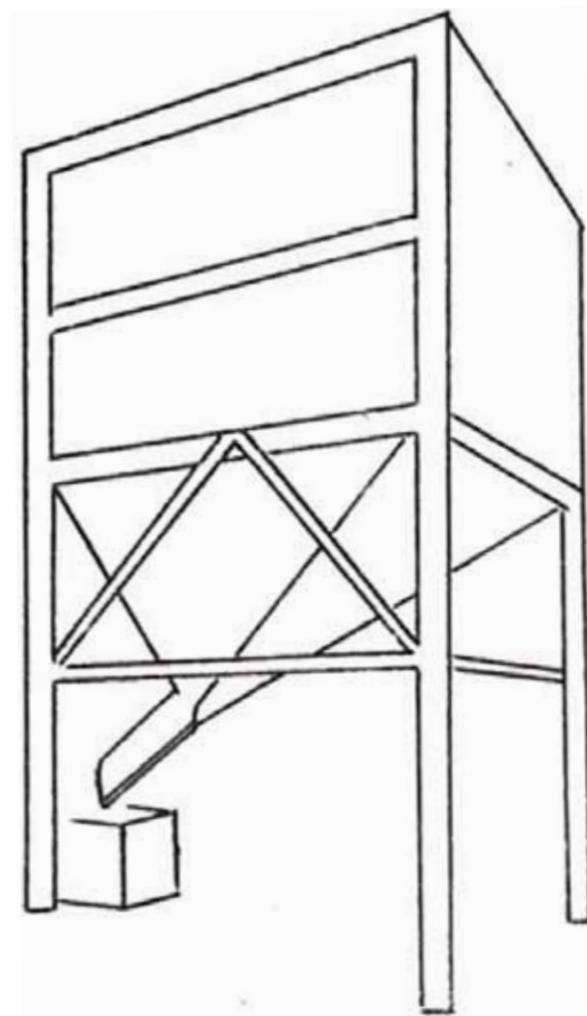


Fig 2 - Tolva para Mezcla

amplio margen de seguridad.

En la parte superior también hay una parte que queda desocupada por la misma razón, y que hay que tomar en cuenta para hacer mayor el volumen total.

Calculo del volumen:

$$\frac{20 \times 2205}{110} = 400 \text{ pies cúbicos.}$$

Para aprovechar mejor el espacio daremos una relación de altura/ancho alrededor de 3. Para esta relación resultan las siguientes dimensiones necesarias: ancho 6 pies. Alto (de la parte superior) 12 pies; además en la parte inferior una forma de pirámide irregular de aproximadamente 6 pies de alto.

Transportador de mezcla.

Para depositar el material mezclado en la tolva, se requiere un transportador. El más adecuado en este caso es el elevador vertical de baldes.

Capacidad requerida:

$$\frac{888 \times 6}{1} = 5300 \text{ lbs por hora.}$$

$$\frac{5300}{2,205} = 2.5 \text{ Tons. por hora.}$$

Como la descarga de la mezcladora es relativamente intermitente se seleccionará un elevador de mayor capacidad que la citada. Así, en los Catálogos, se encuentra el siguiente tipo:

Elevador de baldes: (Cain Belt Co.)

Dimensión	Capacidad	H.P.
-----------	-----------	------

pulgadas	Tons	
----------	------	--

6 x 4	7.1	1.07
-------	-----	------

La altura o sea la distancia entre centros del elevador tiene que ser suficiente para permitir hacer la descarga por gravedad tanto de la mezcladora como del elevador, y como se vé en el plano 1 será cerca de 55'.

C A P I T U L O V

HORNO

Diseño del horno.- Las dimensiones y detalles de los diferentes hornos dependen, naturalmente, de los fines para los cuales son diseñados y además de los materiales de que se dispone. Sin embargo, las principales dimensiones y formas de un horno se calculan sobre la base de unos pocos principios científicos y empíricos que han dado buenos resultados en la práctica. En general se prefiere conseguir aquellas condiciones que permitan obtener un vidrio de buena calidad y una mejor conservación del horno, antes que buscar las soluciones estrictamente desde el punto de vista científico o económico.

Selección del tipo de horno.

En páginas anteriores ya hemos visto las características que diferencian los diversos tipos de hornos, procederemos en primer lugar a designar las condiciones que definan la clasificación en el presente caso: Capacidad del horno: 16 toneladas diarias de vidrio. Esto sitúa nuestro horno en la categoría de hornos pequeños o medianos.

Combustible: petróleo. Este es el más conveniente por su bajo precio y su abastecimiento regular y constante.

Tipo de llama: se usará la llama en herradura. Es la más conveniente para hornos chicos.

Método de recuperación de calor: preferimos la regeneración a pesar de su mayor costo inicial por presentar ventajas en la eficiencia de trabajo sobre los recuperadores.

Materiales de construcción.

Los refractarios ocupan el más importante lugar entre los ma-

teriales que se utilizan en la construcción del horno. Los más usados son los compuestos por los óxidos de sílice y de alúmina y por los de sílice solos. Los primeros se usan principalmente para las partes en contacto con el vidrio y los segundos para las partes que no están en contacto con el vidrio y tienen que soportar altas temperaturas.

En estos materiales se ha llegado a un alto grado de standardización en las especificaciones sobre propiedades químicas y físicas y en las dimensiones. Por consiguiente es fácil encontrar en los mismos catálogos de los fabricantes los refractarios a usarse en cada parte del horno, y asimismo las dimensiones usualmente disponibles en stock.

Se usan a veces ladrillos aislantes para diferentes partes del horno o para los regeneradores. También se usa ladrillos comunes con el mismo fin.

Las piezas metálicas, para la base y para el engatillado del horno son generalmente de fierro y acero comunes. En algunos sitios más expuestos al calor se usa aleaciones más resistentes, acero al cromo o al níquel.

Eficiencia de los hornos actuales

El tipo actual de horno no puede ser satisfactorio desde el punto de la eficiencia térmica. Las razones son las siguientes:

- a) la alta temperatura requerida para la fusión y el refinamiento.
- b) la baja conductividad calorífica del vidrio.
- c) la alta temperatura de trabajo requerida.
- d) el enfriamiento de las paredes.
- e) la presencia de una gran cantidad de vidrio no usado en el proceso.
- f) la superficie calentada no corresponde sino a una fracción del vidrio.

En general se puede considerar la eficiencia media en 15%. Tratando de aumentar el rendimiento se ha llegado al uso de mejores refractarios; lo cual permite mayores temperaturas y por consiguiente mayores producciones unitarias; también se trata de introducir la mezcla dentro del horno en una forma que favorezca la velocidad de fusión, como es la prefabricación de la mezcla en briquetas o sino su alimentación por dispositivos automáticos continuos. Por último, se ha estudiado en forma intensiva las condiciones de llama conveniente, la influencia de los componentes químicos y en general se procura mantener las condiciones favorables mediante el empleo de diversos dispositivos de control.

A raíz de esta ineficiencia se ha propuesto varios tipos de hornos en los cuales el calor pueda ser mejor aprovechado, ya sea por un mejor contacto de la mezcla reaccionante con la llama o la disminución de las superficies que dan lugar a las pérdidas de calor, también se ha propuesto separar las cámaras de fusión y de trabajo. En general estos intentos no han pasado de la fase experimental. Mejores resultados se han obtenido mediante el calentamiento eléctrico de todo el horno o en partes de él.

En suma, por el momento parece que la hegemonía del horno tank no está amenazada y que la industria del vidrio tendrá que conformarse aún por algún tiempo a trabajar con una baja eficiencia térmica.

Dimensiones de la cámara de fusión

La capacidad de fusión del horno está señalada por la superficie de fusión. Se llama así el espacio comprendido entre el puente y la pared posterior del horno. La capacidad de un horno y su producción se expresan por la relación del area de fusión al to-

nelaje del vidrio, o sea pies cuadrados/tonelada. Este rendimiento varía en los diferentes hornos entre 12 pies²/ton. y cantidades menores como ocurre en algunos grandes hornos que producen vidrio para botellas que trabajan con 6 pies² por tonelada de producción diaria.

Es muy importante al juzgar la capacidad o rendimiento de un horno tomar en consideración las diferencias que existen en la operación de un horno grande y uno pequeño. En los hornos grandes, en los cuales se usa llama transversal y en los cuales debido a su longitud se puede controlar más fácilmente las diferentes fases de la fusión como también las gradientes de temperatura en el sentido longitudinal del horno, se puede usar factores más pequeños para el diseño. En un horno relativamente chico hay que asumir un rendimiento menor lo cual dará resultados más aproximados en la práctica. Lo mismo se debe tener en cuenta que para obtener vidrio de calidad se requiere una mayor superficie por tonelada que para la producción de botellas.

En nuestro diseño usaremos un factor de 12, lo cual para una producción de 16 Toneladas diarias requeriría una superficie de fusión de: $12 \times 16 = 192$ pies cuadrados.

Las dimensiones serán: largo 16 pies.

ancho 12 pies.

Profundidad

Ventajas de un horno profundo: hay una mayor cantidad de vidrio en el horno lo cual dá un vidrio más homogéneo. (A veces se mide el rendimiento del horno por esta relación de vidrio extraído a contenido total o peso muerto en el horno). Al mismo tiempo al haber una mayor distancia de la superficie al fondo se reducen las pérdidas de calor, la temperatura en el fondo es más baja por la misma razón y así se consigue prolongar la vida de los refractarios que

forman el fondo.

La principal desventaja de un horno profundo es que la mayor diferencia de temperatura entre la superficie y el fondo favorece las llamadas corrientes de convección por las cuales las corrientes de vidrio frío forman una especie de río que avanza hasta los alimentadores y se refleja en los productos obtenidos en forma de rayas o "cuerdas".

Los hornos en actual funcionamiento tienen profundidades variables entre 2 1/2 y 4 pies. Las fábricas de refractarios tienen blocks de tamaño standard en largos de 30, 36, 42 y 48 pulgadas.

En nuestro diseño, como hemos supuesto una producción baja, no se necesitará trabajar con temperaturas muy elevadas por lo que podemos escoger una profundidad de las menores, Esta será, pues de 3 pies.

Cámara de combustión

Para la comparación de diversos tipos de horno se ha creado el término de "Calor liberado" que se expresa en Btu. generados por pié cúbico de volumen de horno y por segundo.

La cantidad definida de espacio de combustión que se requiere es difícil de hallar en la literatura comparando diferentes tipos de hornos debido a que hay varias variables que ocultan el efecto de cada una en particular. Estas variables son:

- a) la temperatura del horno.
- b) el quemador y la intimidad de la mezcla.
- c) las proporciones de combustible.
- d) la forma de la cámara de combustión.

Para cada tipo de horno, una vez que se fijan varias de las condiciones anteriores, hay límites definidos del calor liberado más

conveniente, lo cual permite deducir las dimensiones en cada caso particular.

Así en los hornos periódicos se encuentra que la liberación de calor es de 16 Btu por segundo; en los hornos continuos sin recuperación de calor este valor baja a 9. En el promedio de los hornos tipo regenerativo que trabajan sobre la base de una baja producción la liberación de calor se efectúa aproximadamente a 3.5 Btu/seg. El mismo horno operando a una mayor extracción eleva su liberación de calor a 4 y hasta a 5 Btu/seg.

En los dos primeros tipos señalados la emisividad de la llama es bastante menor. Ambos usan quemadores que efectúan una mezcla íntima del combustible y del aire.

En los hornos continuos se ha comprobado la importancia de una llama de alta emisividad para la buena transmisión de calor de la llama al vidrio. El diseño del horno y el control de la operación tienden a mantener este tipo de llama.

La tendencia actual es de aumentar el volumen de combustión. Las ventajas obtenidas son: temperatura más uniforme a lo largo de todo el horno, la previsión de sobrecalentamientos locales y una mayor facilidad de control de la intensidad calorífica en los diversos puntos. Cámaras de combustión más grandes permiten trabajar con presiones del horno más bajas, siempre que las demás partes del horno estén convenientemente proporcionadas.

En nuestro caso la generación de calor (para el horno al principio de su campaña) será de cerca de 10'000.000 de Btu por hora llegando al fin de la campaña a alrededor de 13'000.000. Calculando para un factor de 3: $\frac{10'000.000}{3600 \times 3}$ 900 pies³ (aprox.)

Dimensiones de la cámara de combustión

El largo y el ancho de la cámara de combustión serán los correspondientes a las de la parte que contiene el vidrio más el espesor de las paredes que son de 1 pié. Por consiguiente las dimensiones interiores serán:

Largo: 16 + 1 = 17 pies

Ancho: 12 + 2 = 14 pies

Como conocemos el volumen necesario el alto es facilmente calculable. El techo de la cámara lo constituye una bóveda construida en forma de arco de círculo. Antiguamente se usaban arcos bastante elevados pero la tendencia actual es de reducir las flechas de dichos arcos. Algunos diseñan sus arcos dándoles una flecha de 1/8 de la luz del arco lo cual equivale a un arco de 54° en un círculo cuyo radio es un poco mayor que la luz del arco. La construcción que se está haciendo más popular es hacer el ángulo correspondiente al arco de 60°. En este caso el radio correspondiente es igual a la luz.

El area del segmento circular es:

$$\frac{3.14 \times 142}{6} - \frac{\sqrt{3} \times 14^2}{6} = 17.6 \text{ pies cuadrados.}$$

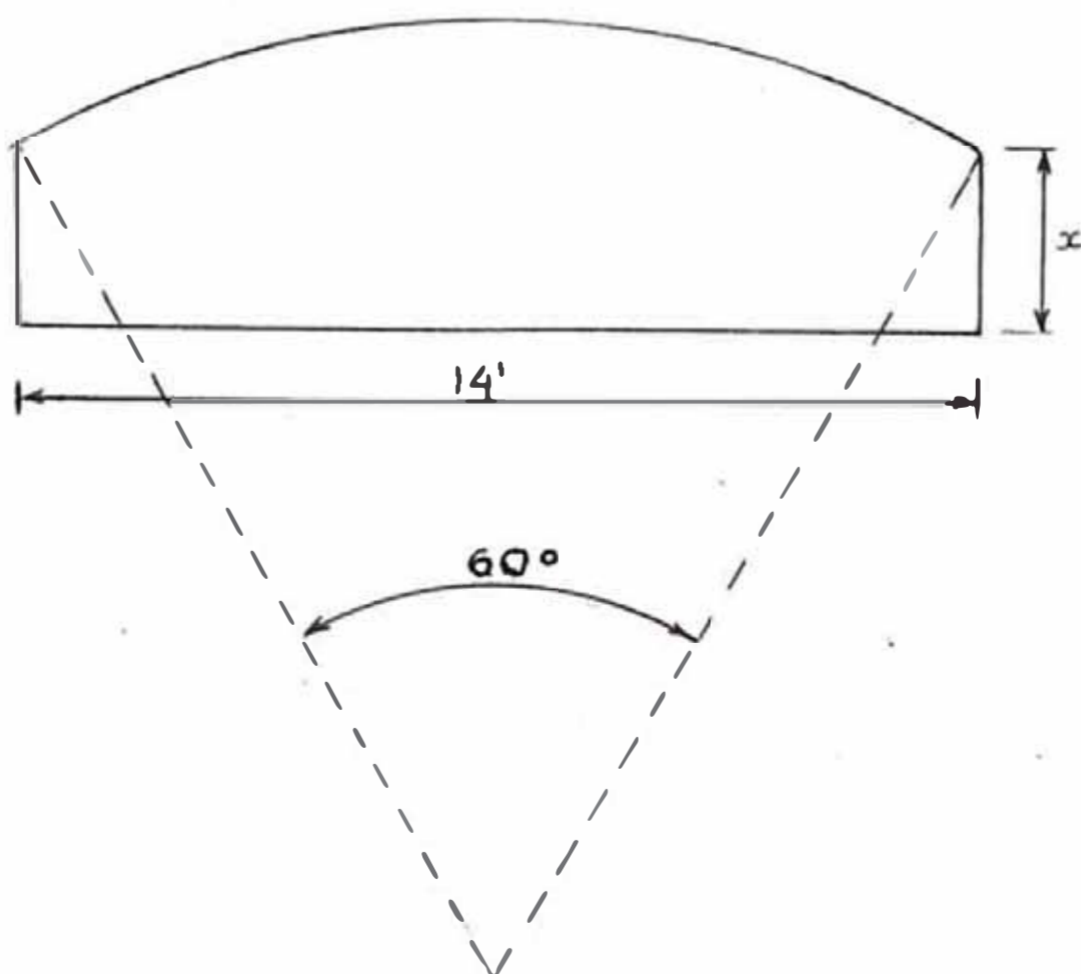


Fig 3 - Sección transversal de la Cámara de combustión

Designando por x la altura de las paredes laterales:

$$(14x + 17.6) 17 = 900$$

De donde:

$$x = 2.5 \text{ pies (alto)}$$

Puente y garganta

La separación de los compartimientos de fusión y de trabajo, como ya se ha dicho se efectúa por una pared doble denominada puente. El objeto de que la pared sea doble es el de dejar un espacio libre accesible a la ventilación de aire, natural o por bombeo.

El paso del vidrio se efectúa por una abertura o pasaje denominada garganta.

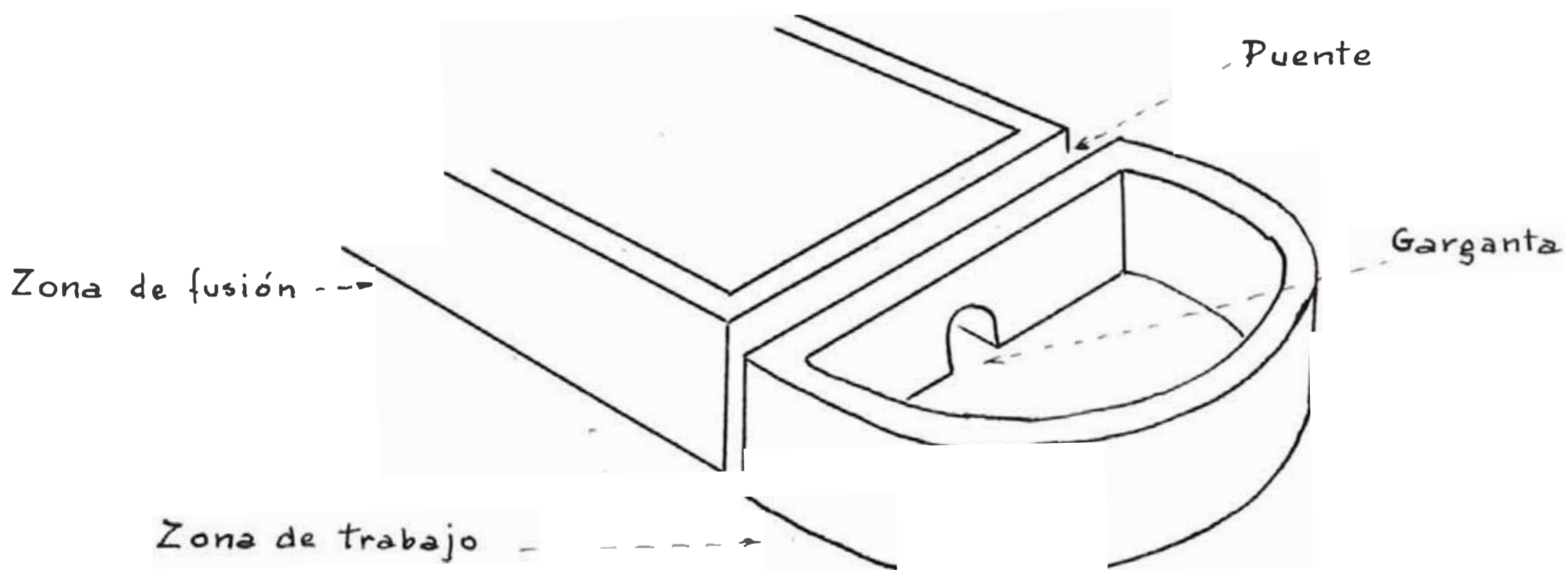


Fig 4 - Compartimientos del Tank

Cuanto más profunda la garganta, más frío es el vidrio que pasa a la zona de trabajo lo que hace que sea menor la corrosión de los blocks que forman la garganta. Algunos hornos trabajan por esta razón con una garganta cuyo nivel superior es el del piso del horno llamándose a este tipo de garganta, sumergida. Pero también ocurre que cuando los vidrios son de alto contenido de alúmina o cuando aumenta la

proporción de óxidos de tierras alcalinas y disminuye la de álcali, el enfriamiento eleva demasiado la viscosidad del vidrio. También en los casos en que por algún desperfecto, se detiene la producción, este tipo de garganta puede dar lugar al congelamiento del vidrio de la garganta.

Por estas razones escogemos el tipo de garganta común. (Fig.4) Para la mejor conservación de los blocks que forman la garganta, sobre todo después de algunos meses de operación, se puede refrigerarlos, especialmente en el lado del vidrio más caliente o sea el de la zona de fusión. Esta refrigeración debe hacerse con todo cuidado pues si se exagera puede provocar cuerdas de vidrio congelado o muy viscoso dentro de la masa, sino un enfriamiento completo del vidrio de la garganta.

Zona de trabajo

La superficie de la zona de trabajo se expresa generalmente en forma de fracción respecto a la zona de trabajo.

Se considera que 30% es el mínimo que debe tener un horno para considerarse de buen diseño.

La forma es generalmente semicircular para tener mayor volumen sin aumentar demasiado la superficie exterior. En nuestro horno este compartimiento estará formado por un semicírculo de 7 pies de radio..

La relación de áreas es:

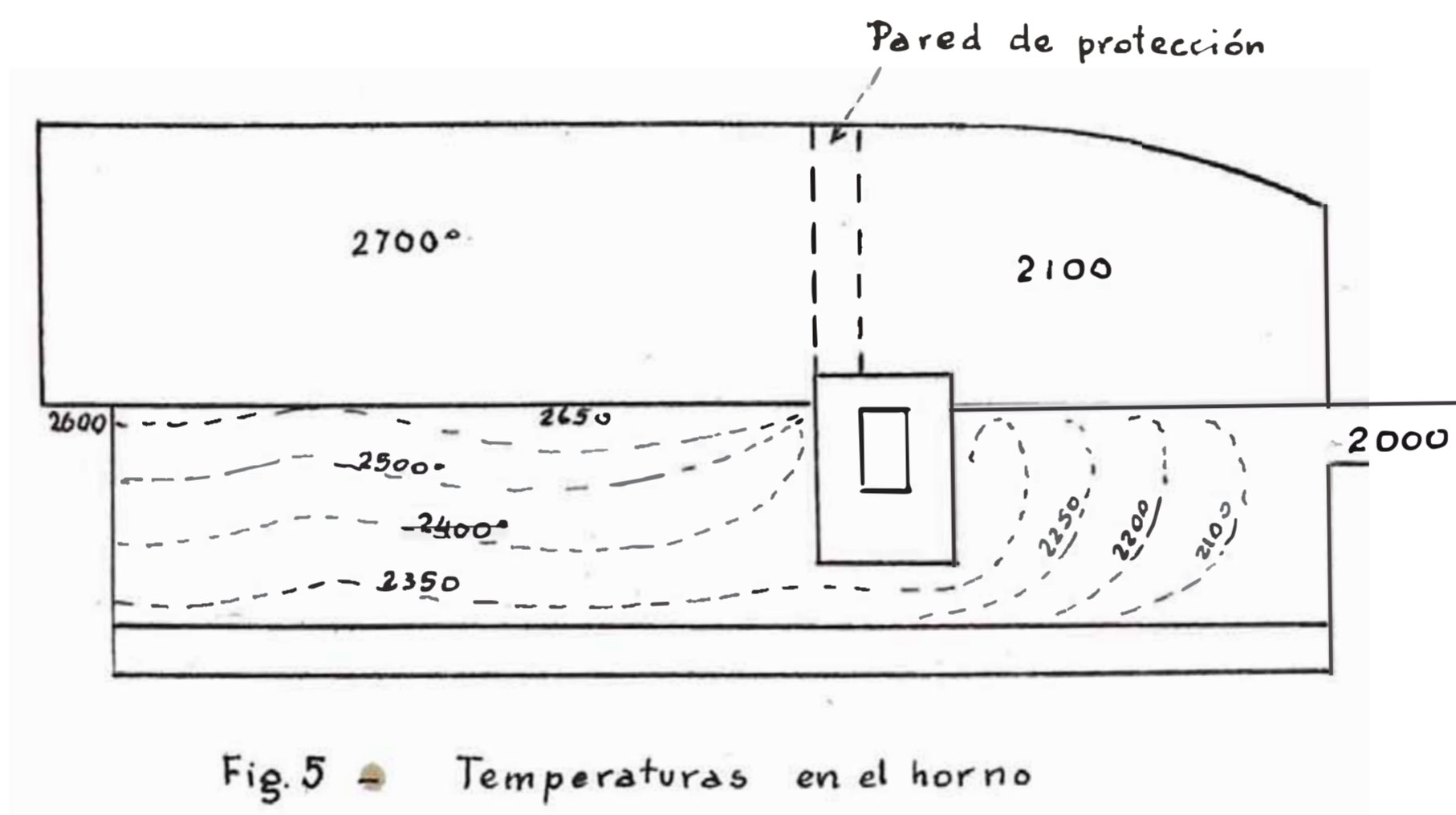
$$\frac{1/2 \times 3.14 \times 7^2}{12 \times 16} \times 100 = 40\%.$$

TEMPERATURA EN EL HORNO - Pared de protección.

La temperatura máxima del horno varía según el vidrio que se fabrica y según la producción unitaria del horno. Usualmente varía entre 2600 y 2700° F. Esta temperatura tiene que ser disminuida para ob-

tener una viscosidad adecuada para el moldeo del vidrio. Se enfría así a temperaturas de 2000 a 2100° F. Ambas temperaturas coexisten en un solo tank (tina), lo cual puede suceder únicamente porque el vidrio es un mal conductor del calor.

Estas diferencias de temperatura existen no solo en el sentido longitudinal sino también hacia el fondo; originándose así un conjunto de capas o líneas de temperatura en las diferentes zonas y niveles que se pueden representar con una serie de isoterma. (Fig. 5)



De un horno a otro o en un mismo horno las variaciones en esas isoterma se producen por la diferente luminosidad de la llama, la profundidad de la garganta, la transparencia del vidrio, los diferentes espesores de las paredes, etc.

Para poder mantener esta escala de temperaturas hay que evitar que los gases de combustión calienten la zona de trabajo lo que se consigue levantando sobre el puente una especie de malla de ladrillos que sirven para interceptar las irradiaciones. Esta pared se denomina en inglés "shadow-wall", lo cual podría traducirse como "pared de protección".

Carguío del horno

La introducción de la mezcla se puede hacer por unas aberturas en las paredes superiores, o como se hace en la mayoría de los hornos existentes, por una prolongación del tank mismo. En los hornos con llama en herradura, en los cuales los regeneradores están en la parte posterior, la alimentación se hace por un costado.

La parte de la superestructura correspondiente a la boca de alimentación es sostenida mediante un arco y el aspecto que tiene el conjunto ha hecho que se le denomine "casa de perro".

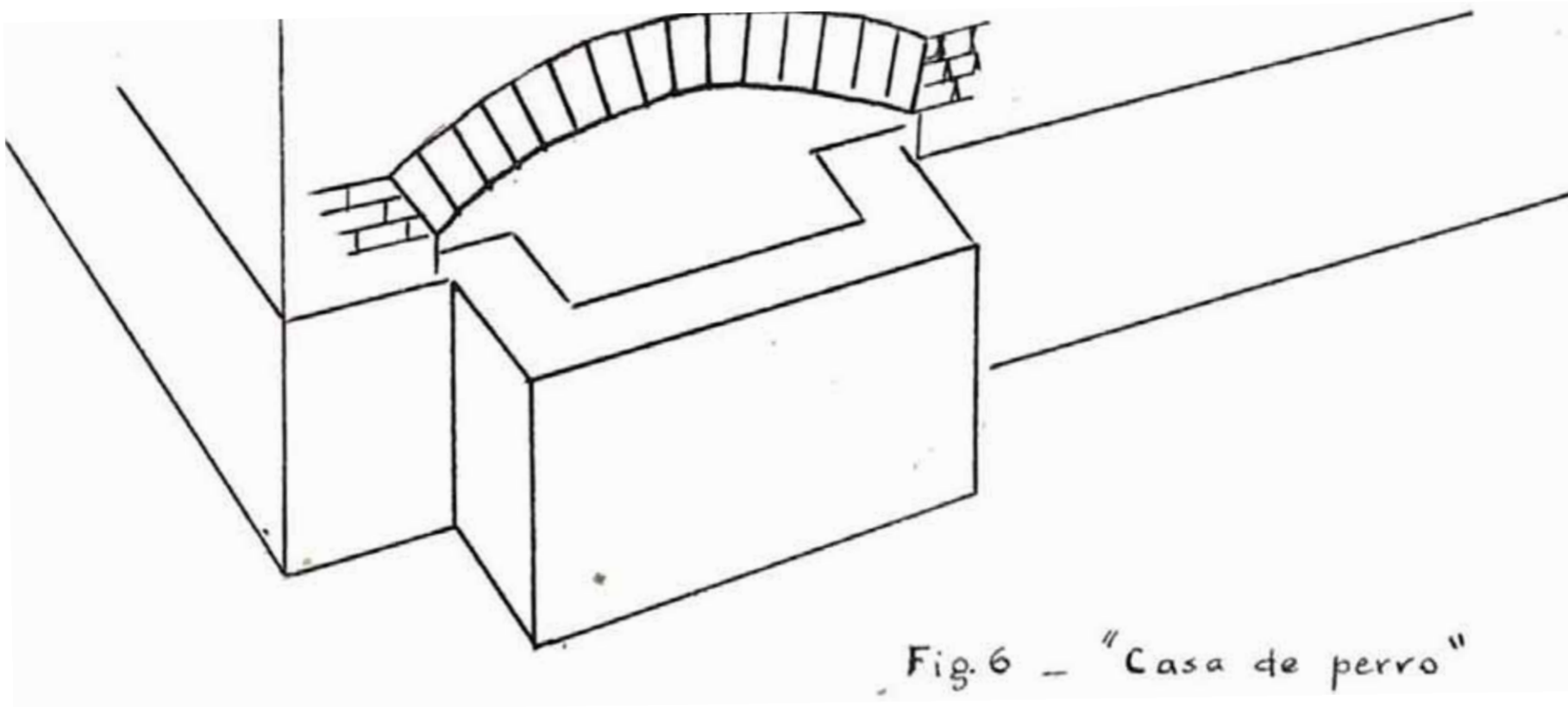


Fig. 6 - "Casa de perro"

En cuanto a la carga misma se puede hacer a mano o mediante procedimientos mecánicos. Una habil y cuidadosa alimentación manual es uno de los mejores métodos para efectuar el carguío de la mezcla. En el esquema 1 se vé el sistema de carga.

CONSTRUCCION DEL HORNO - BLOCKS Y LADRILLOS

Piso

Los pisos tanto de la zona de fusión como de la de trabajo, se forman con una serie de blocks grandes que se colocan simplemente uno al lado del otro, sin mezcla. (Se deja los espacios adecuados para la expansión según la indicación de la Casa fabricante de los

refractarios que se usan).

En nuestro caso se usará blocks de 12 x 18 x 36 para uniformar las dimensiones con la de las paredes del tank, complementándose con blocks de la misma serie donde otras dimensiones son requeridas.

Los fabricantes de blocks refractarios (Laclede Christy) mantienen surtido de dichos blocks en dimensiones múltiples de 2" para la dimensión menor y de 3 para las otras dimensiones.

Para completar el semicírculo de la zona de trabajo se usan blocks triangulares (Fig. 8).

Pared

La pared del tank tiene las mismas características que el fondo. Para el puente usamos los mismos blocks que para las paredes.

Para conformar el semicírculo de la zona de trabajo tenemos necesidad de blocks trapezoidales.

El ángulo necesario es:

$$\text{sen} \frac{\alpha}{2} = \frac{18/2}{8 \times 12} = \frac{3}{32}$$

Tratándose de ángulos pequeños podemos tomar con bastante aproximación la tangente del ángulo del trapecio igual al seno del mismo:

$$\text{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{x/12}{12} = \frac{3}{32}$$

De donde:

$$x = 2 \frac{1}{4} \text{ pulgadas.}$$

La cara interior de los blocks tendrá, pues, 15 $\frac{3}{4}$ pulg.

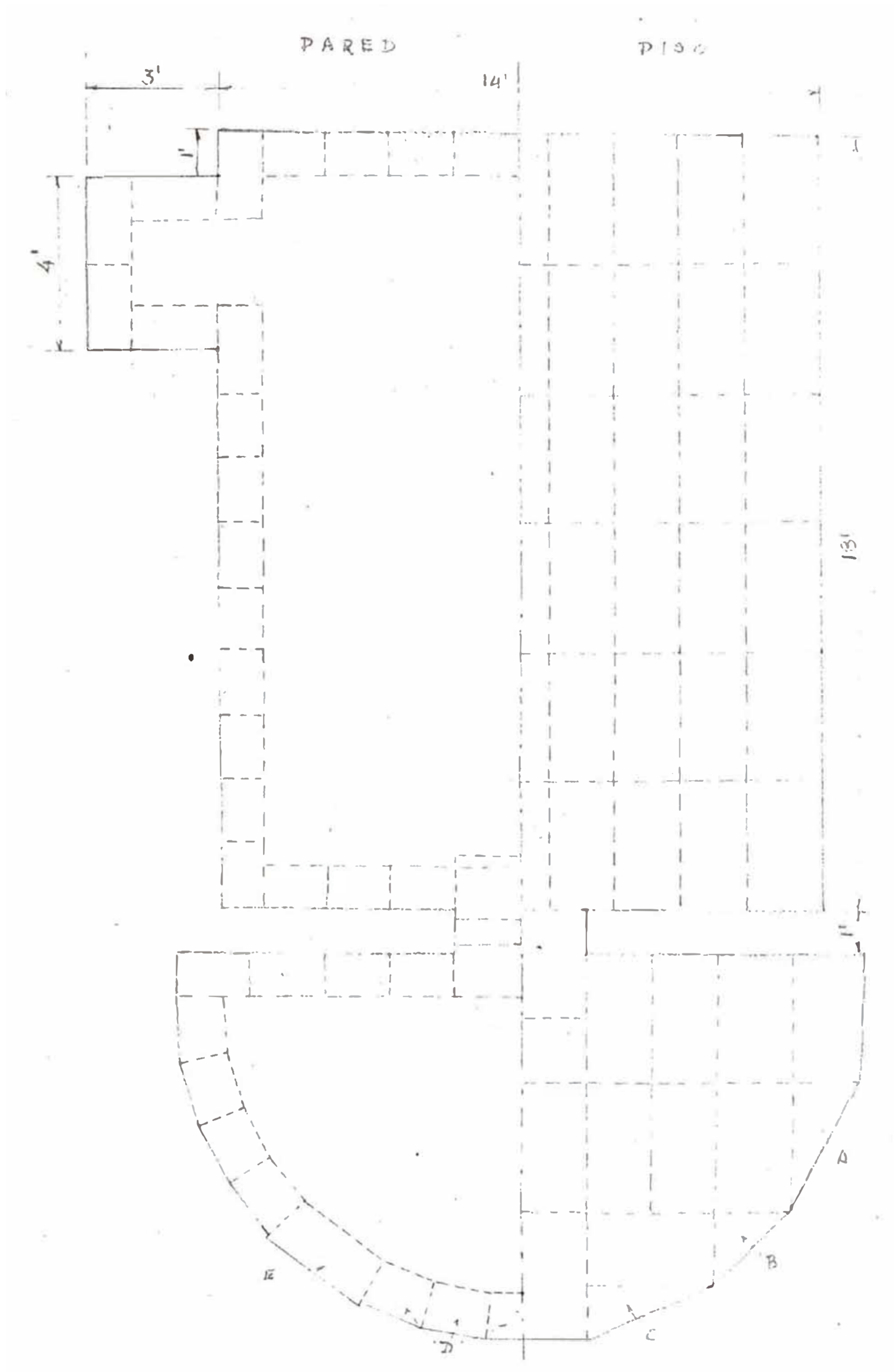
El número necesario es:

$$\alpha = 2 \text{ arc tg } 3/32 = 10^{\circ}42'4$$

$$\alpha = 10.7^{\circ}$$



Fig. 7



Para la semicircunferencia:

$$\frac{180}{10.7} = 16.7 \text{ blocks.}$$

Pero como se vá a necesitar dos blocks más anchos para la entrada a los alimentadores (aproximadamente 36" c/u), usaremos 13 blocks.

El ángulo correspondiente a los blocks de entrada es:

$$1/2 (180 - 13 \times 10^{\circ}42'4) = 20^{\circ}24'4$$

Con este ángulo y con un espesor de 14" calculamos los lados del trapecio, que resultan: 34 3/4 y 29 3/4. Se usará 4 de estos blocks dos de ellos cortados especialmente según el canal de entrada de los alimentadores.

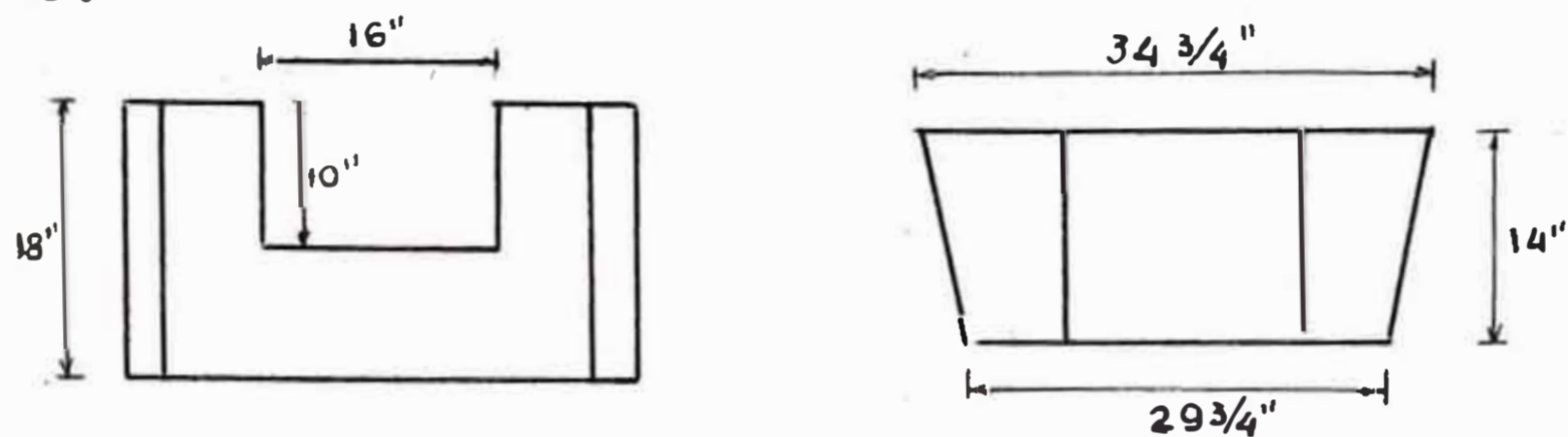


Fig. 9 - Blocks para alimentadores

Garganta

La garganta se puede formar con blocks rectangulares o mejor con blocks especiales. Así en el Catálogo de Laclede Christy se escoge los siguientes blocks para una garganta de 12 x 12 x 36.

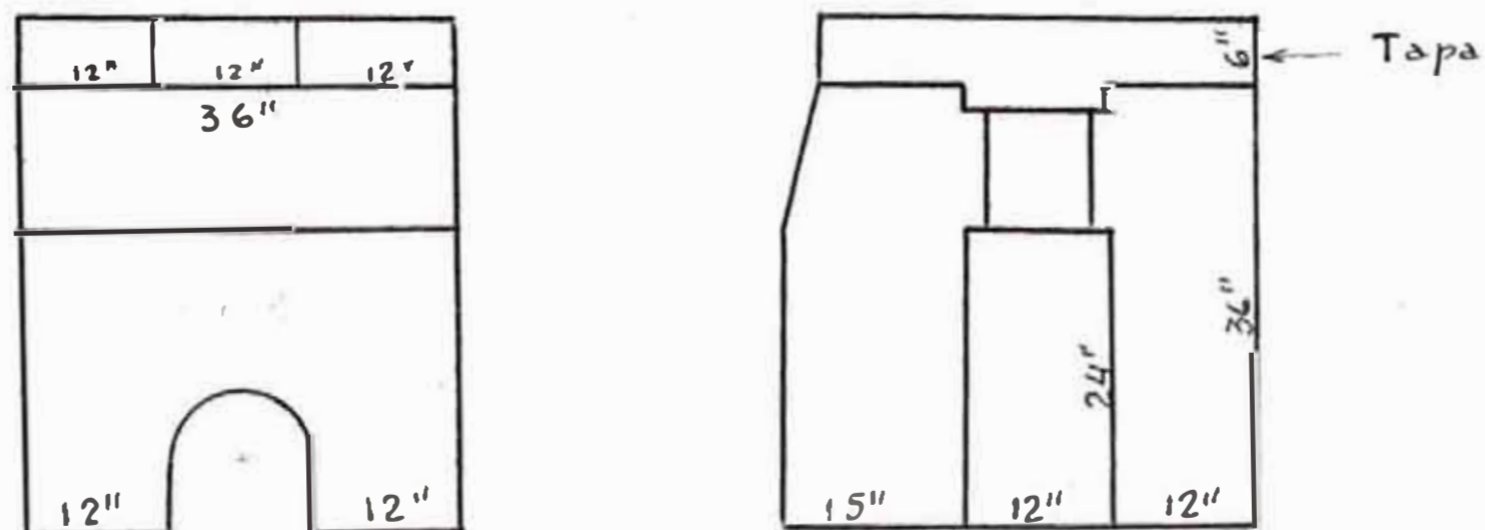


Fig.10 - Blocks para la Garganta

Puente

El puente se completa con tapas refractarias que unen las dos paredes. Las dimensiones de estas tapas son: 6 x 12 x 36.

Para el ancho de 14' se necesitará pues: 14.

Cámara de combustión

La cámara de combustión se prolonga desde la pared posterior pasando por encima del puente y forma una sola unidad con la pared del refinador o zona de trabajo.

La longitud de la pared lateral es de 20 pies. La altura es 2.5 pies. El número de ladrillos necesario es: (8 por pie²)

$$2 \times 2.5 \times 20 \times 8 = 800$$

La pared posterior tiene un área (pag.29) de $35 + 17.6 = 52.6$ pies²; deduciendo las aberturas para la entrada y salida de los gases (aproximadamente 10 pies²), el número de ladrillos necesarios es:

$$42.6 \times 8 = 340.$$

En la pared posterior se construyen los arcos correspondientes a las aberturas mencionadas, las cuales tendrán una luz de 3.5'. Estos arcos para un espesor de 6" requieren las siguientes cuñas:

Arch N^o.1: 8
Arch N^o.2: 9

Y como son dos arcos, se necesitará el doble.

Encima de estos arcos se colocan los blocks especiales para los quemadores que tienen aberturas especiales para permitir el paso del petróleo y del aire de atomización.

En la pared lateral también se construye un arco correspondiente a la "casa de perro". La luz de este arco es de 4'. El espesor será de 12". El Catálogo dá para este arco:

Wedge N^o.2: 17
Wedge N^o.3: 4

Pared de protección.-

La malla de ladrillos con la que se forma esta pared (pag.31) estará formada con ladrillos rectos de Sílice. Suponiendo que ^{en} dicha

masa los ladrillos alcancen los 0.7 del total; siendo la sección la del horno o sea 52.6 pies^2 :

$$52.6 \times 0.7 \times 8 = 300$$

Ladrillos de relleno:

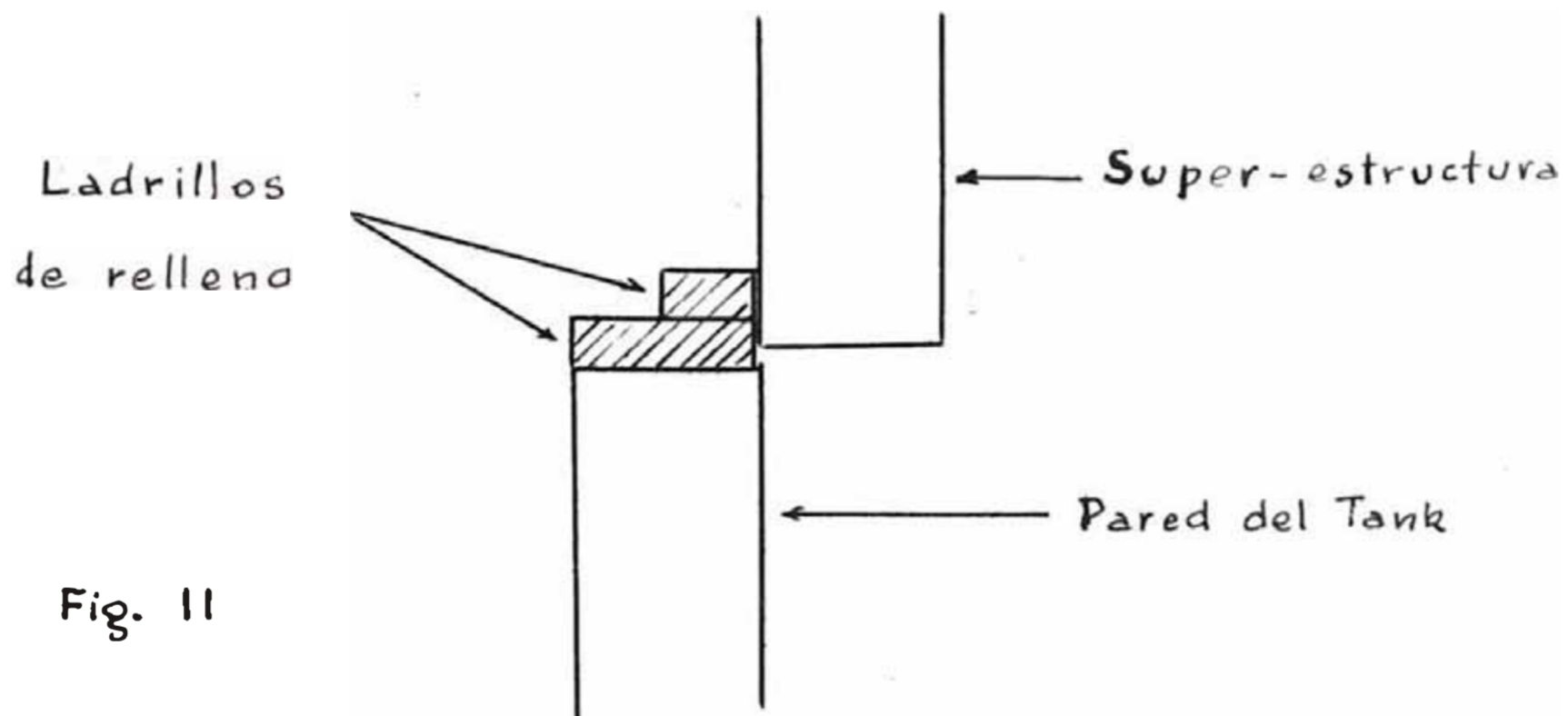
En la división entre el tank y la parte superior se coloca una serie de ladrillos de sílice para precaverse de pérdidas de calor o infiltración de aire.

El número de ladrillos por pié es de 3.

La longitud para las tres paredes interiores descontando aberturas es: 37'

El número de ladrillos necesario es por consiguiente:

$$3 \times 37 = 111$$



Pared de la zona de trabajo.-

Esta pared es un semicírculo de 7 pies de radio interior. El espesor es de 12". Para conseguir estas dimensiones se necesita las

cuñas:	Key N ^o .2:	26
	Key N ^o .1:	25

El alto es 2.5 pies o sea 30 pulgadas y el espesor del ladrillo que es el alto de cada hilada: 3". El número de hileras es pues de 10. El total de ladrillos necesario es:

Key N^o. 2: 260
Key N^o.1 : 250

En esta pared se construyen los dos arcos de la boca de salida del vidrio o sea de los alimentadores. La luz es de 3'. El espesor de 6". Cuñas requeridas:

Arch N^o.1 4
Arch N^o.2 11

O sea el doble para los dos.

La albañilería de sílice requiere un mortero silicoso. Este se obtiene mezclando arena fina con un pequeño porcentaje de cal apagada (2%) que sirve de liga. Se procura que la cantidad de mortero sea mínima, siendo el método de trabajo untar los ladrillos con el mortero únicamente lo necesario para disimular las pequeñas diferencias que pudieran presentar los ladrillos. En todas estas paredes se dejan las juntas de expansión según los coeficientes de expansión proporcionados por los fabricantes.

Bóveda de la zona de fusión.-

Como ya se ha dicho esta bóveda estará formada por arcos de 60°, es decir que el radio interior será igual a la luz: 14'.

Número de ladrillos necesario:

$$\frac{3.14 \times 15 \times 12}{3 \times 3} = 63$$

Cuña necesaria:

$$\frac{3.14 \times 14 \times 12}{3 \times 63} = 2.8$$

Disponemos de las cuñas:

$$\text{Wedge N}^{\circ}.1 = 12 \times 6 \times 3 \times 2 \frac{3}{4}$$

$$\text{Wedge N}^{\circ}.1-X = 12 \times 6 \times 3 \times 2 \frac{7}{8}$$

La cuña N^o.1 es la más aproximada. El número de Wedge 1-X que hay que intercalar:

$$\frac{63 \times (2.8 - 2.75)}{2 \frac{7}{8} - 2 \frac{3}{4}} = 25.$$

Por consiguiente se necesita por anillo:

Wedge N ^o .1	38
Wedge N ^o .1-X	25

Para el largo de 20':

Wedge N ^o . 1	38 x 20 x 2	= 1520
Wedge N ^o . 1-X	25 x 20 x 2	= 1000.

A veces en la parte central se colocan ladrillos de 6 x 6 x 12 o 6 x 9 x 12 algunos de ellos con una perforación de 1" aproximadamente para permitir colocar los tubos de los pirómetros (par. termoelectrico).

Las juntas de expansión se dejan en el sentido longitudinal, según especificación del fabricante.

Cúpula de la zona de trabajo

Esta cúpula es un casquete esférico correspondiente a un sector esférico de 60°. La dificultad en la construcción proviene generalmente de que no son suficientes uno o dos tipos de ladrillos o cuñas para conseguir la forma deseada.

Se puede calcular de dos maneras: en una de ellas aproximando directamente la forma radial de los ladrillos a usarse a la curvatura deseada. La otra tratando de aproximarse a dicha curvatura asentando alternativamente hileras o anillos de cuñas wedge y keys. En este último caso no se consigue de ninguna manera una junta exacta de las caras siendo menester rellenar los vacíos con mortero.

Aún en el caso de encontrar un ladrillo para el radio de casquete igual al buscado, no se puede construir todo el casquete con un solo tipo de ladrillo, debido a que los anillos más pequeños adquieren una curvatura mayor, impidiendo un llenado perfecto de la cúpula.

Determinación del ladrillo radial necesario

Espesor: 12". Ancho de cada anillo: 6".

El ángulo correspondiente a un ladrillo es:

$$\text{sen } \frac{\alpha}{2} = \frac{6 / 2}{15 \times 12} = \frac{1}{60}$$

$$\alpha = 1^{\circ}54'44$$

Por otro lado:

$$\frac{x/2}{12} = \frac{1}{60}$$

$$x = 0.4$$

El lado de la cuña debe ser: $6 - 0.4 = 5.6$

O sea que la cuña debe tener: 5 19/32

De la misma manera:

$$\text{sen } \frac{\beta}{2} = \frac{3/2}{15 \times 12} = \frac{1}{120}$$

Y para este lado: $x = 0.2$

El lado del ladrillo debe ser de 2 13/16".

Estas dimensiones serán constantes para todos los ladrillos.

La Fábrica Harbinson- Walker dá para cúpulas de 14' de diámetro el siguiente conjunto de cuñas radiales:

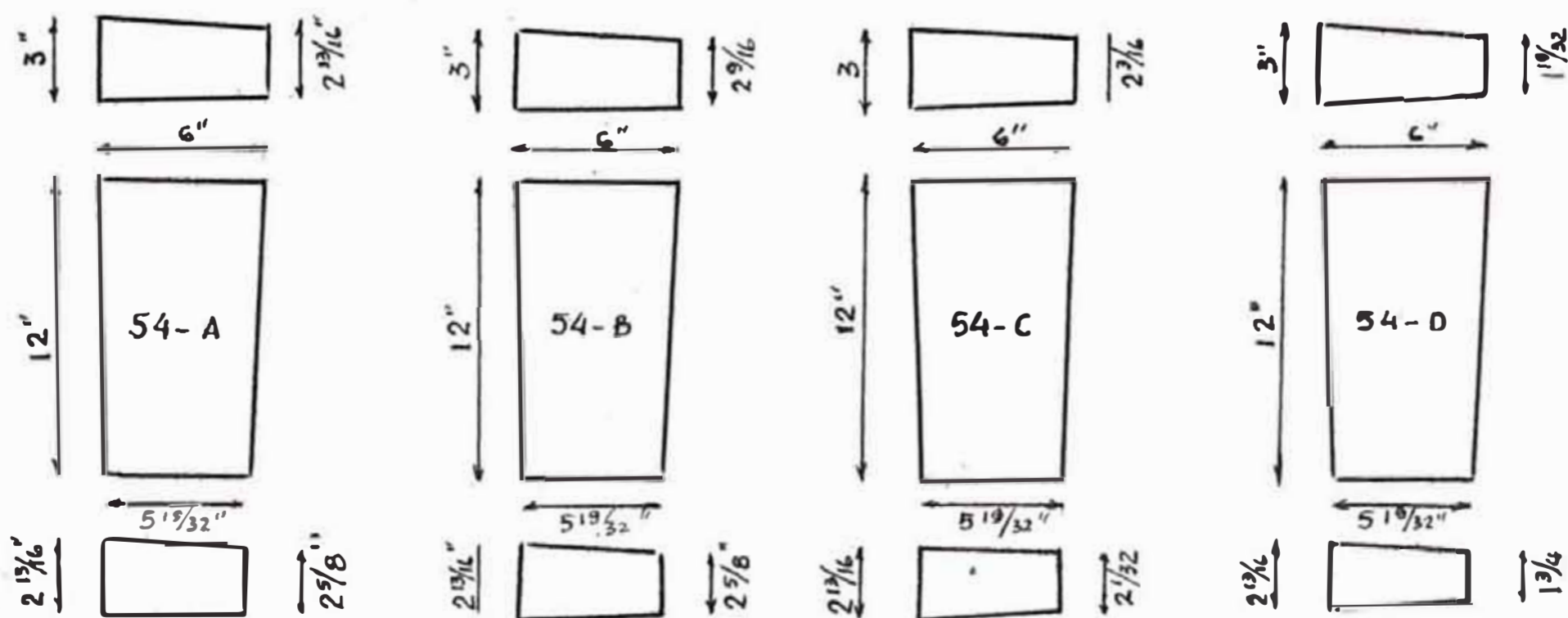


Fig. 12

Con estos ladrillos, queda solo por determinar el número de filas y el de la cantidad de cuñas que deben integrar cada fila.

Número de filas:

$$1 \times \frac{30}{54} \times 44 = 15.7$$

En la práctica este número es menor porque en las filas interiores la curvatura crece mucho y ya no es posible llenarlas con ladrillos radiales.

Número y tipo de ladrillo por fila

Para facilitar los cálculos preparamos una tabla de los ángulos correspondientes a cada hilera o anillo, con sus respectivos senos y tangentes.

Fila	Angulo	Seno	Tangente
1	30°00	0.5000	0.5774
2	28°05.6	.4709	.5333
3	26°10.1	.4410	.4913
4	24°15.7	.4109	.4507
5	22°21.2	.3803	.4112
6	20°26.8	.3493	.3728
7	18°32.3	.3179	.3353
8	16°37.9	.2862	.2987
9	14°43.5	.2542	.2628
10	12°49	.2218	.2275
11	10°55'6	.1896	.1931
12	9° 1'2	.1567	.1588
13	7° 6'8	.1239	.1248
14	5°12'3	.0908	.0911
15	3°17'8	.0575	.0576

Primera fila

$$R_1 = 15 \operatorname{tg} 30^\circ = 8.65 \text{ pies}$$

$$R_1 = 15 \operatorname{sen} 30^\circ = 7.5 \text{ pies}$$

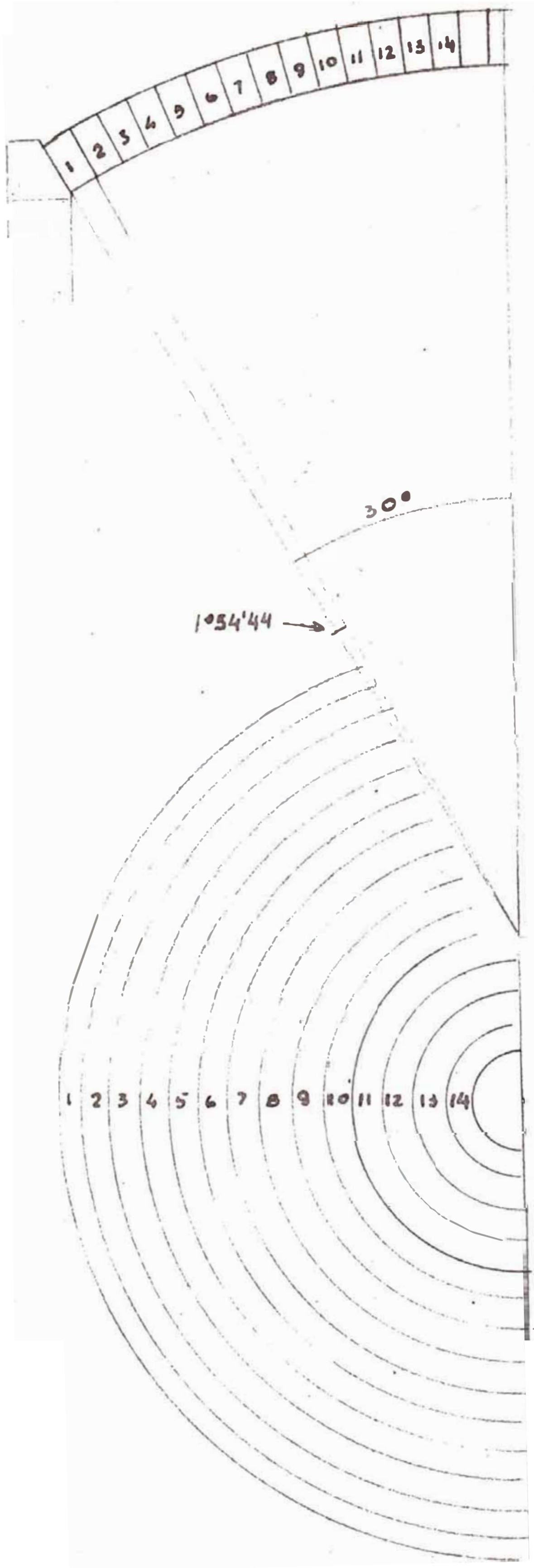
Cuña necesaria:

$$\frac{3 \times (8.65 - 0.50)}{8.65} = 2.828$$

$$c = 2 \frac{13}{16}$$

Número de ladrillos:

$$3.14 \times \frac{7.5}{3} \times 12 = 95$$



Cúpula

Segunda fila

Por el mismo método se obtiene el siguiente resultado:

Cuña necesaria: 2 13/16

Número de ladrillos: 88

Tercera fila

$$R_3 = 15 \cdot \text{tg } 26^\circ 10' 1'' \\ = 7.37$$

$$R_3 = 15 \cdot \text{sen } 26^\circ 10' 1'' \\ = 6.63$$

Número de ladrillos

$$\frac{3.14 \times 6.63 \times 12}{3} = 83.$$

Tipo de cuña

$$\frac{3 \times (7.37 - 0.5)}{7.37} = 2.797$$

Como esta dimensión es menor que la que tiene el ladrillo tipo A vamos a alternar estos con los del tipo B.

$$\frac{83 (2.812 - 2.797)}{1/4} = 5$$

Del tipo B se usarán 5 ladrillos

Del tipo A: 83 - 5 = 78

Con este mismo método se calcula las filas restantes. Los resultados obtenidos están tabulados en la página siguiente.

Se calcula solamente 14 filas. El espacio restante se rellena con cualquier tipo de cuñas, de preferencia de tamaño grande.

Ladrillos para la cúpula de la zona de trabajo

Fila Nº	A	B	C	
1	95			
	88			
	78	5		
	66	12		
	55	17		
6	44	22		
	33	27		
8	22	32		
9	10	38		
10		42		
11		28	8	
12		14	16	
13			24	
14				17
	491	237	48	17

Volumen de ladrillos que forman la cúpula:

Consideramos el casquete esférico como la diferencia entre dos semisectores esféricos:

$$V = \frac{1}{2} (V_1 - V_2) \dots\dots(1)$$

El volumen de un sector esférico es:

$$V = \frac{1}{3} RS; \text{ donde } S \text{ es la superficie.}$$

La superficie de un sector es:

$$S = 2 \times 3.14 Rh; \text{ donde } h \text{ es la altura.}$$

Tratándose de un ángulo de 30°:

$$h = R - R \cos 30^\circ = R(1 - \cos 30^\circ)$$

Luego el volumen será:

$$V_1 = \frac{2}{3} \times 3.14 \times (1 - \cos 30^\circ) R_1^3$$

$$V_2 = \frac{2}{3} \times 3.14 \times (1 - \cos 30^\circ) R_2^3$$

Reemplazando en (1) y con los valores para $R_1 = 15$ y $R_2 = 14$ resulta:

$$V = 88.5 \text{ pies}^3$$

$$\text{Peso} = 88.5 \times 110 = 9730 \text{ lbs.}$$

Arranques de las cúpulas

El ladrillo en el cual nace el arco es generalmente de forma especial para dar el ángulo necesario y para acomodarse al mismo tiempo con los ángulos que deben sostener los esfuerzos de dichos arcos.

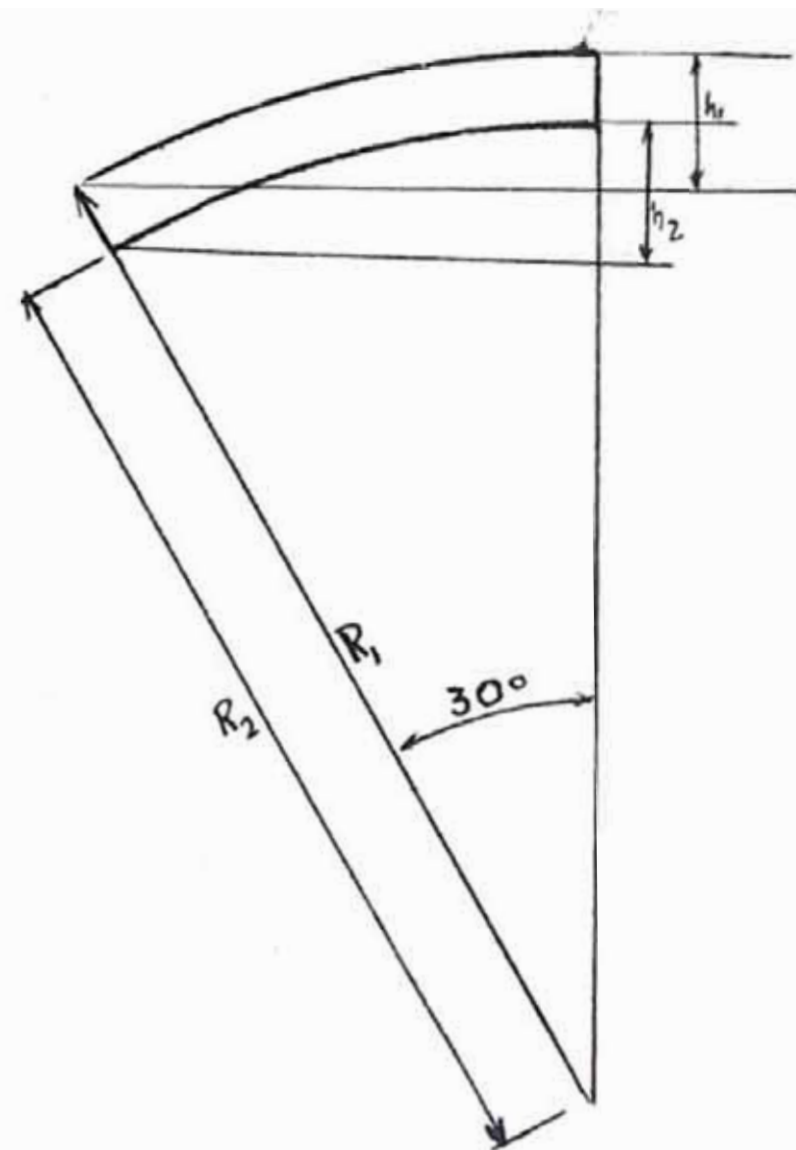
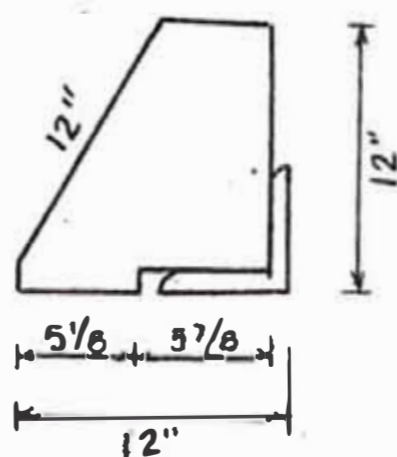


Fig. 14

Fig. 15

Arranque de arco



De los ladrillos de arranque se necesitará, para la zona de fusión:

$$2 \times (2 \times 20) = 80$$

Para la zona de trabajo:

$$\frac{3.14 \times 8 \times 12}{3} = 101$$

Como la forma es circular, deberán ser cuñas:

$$\frac{3 \times (8 - 1.0)}{8} = 2,5/8$$

CONSTRUCCION DEL HORNO - BASE

El fondo tiene que ser construido de tal manera que tenga suficiente ventilación natural. La construcción de arcos para sostener el horno ha sido completamente abandonada y en su lugar se usa un sistema que como se vé en la figura consiste en una serie de vigas I de 6" que reposan sobre dos o tres vigas de gran sección (15"). Estas últimas están sostenidas por un conjunto de columnas de ladrillos que sirven para soportar así todo el peso del horno y pasarlo a los cimientos.

Para disminuir más la distancia entre apoyos sobre las vigas se colocan una serie de varillas rectangulares (1/2 x 1) separadas por 6 u 8 pulgadas entre centros. Así en caso de accidente no se puede caer un pedazo grande del fondo y se puede hacer siempre las reparaciones del caso y seguir trabajando.

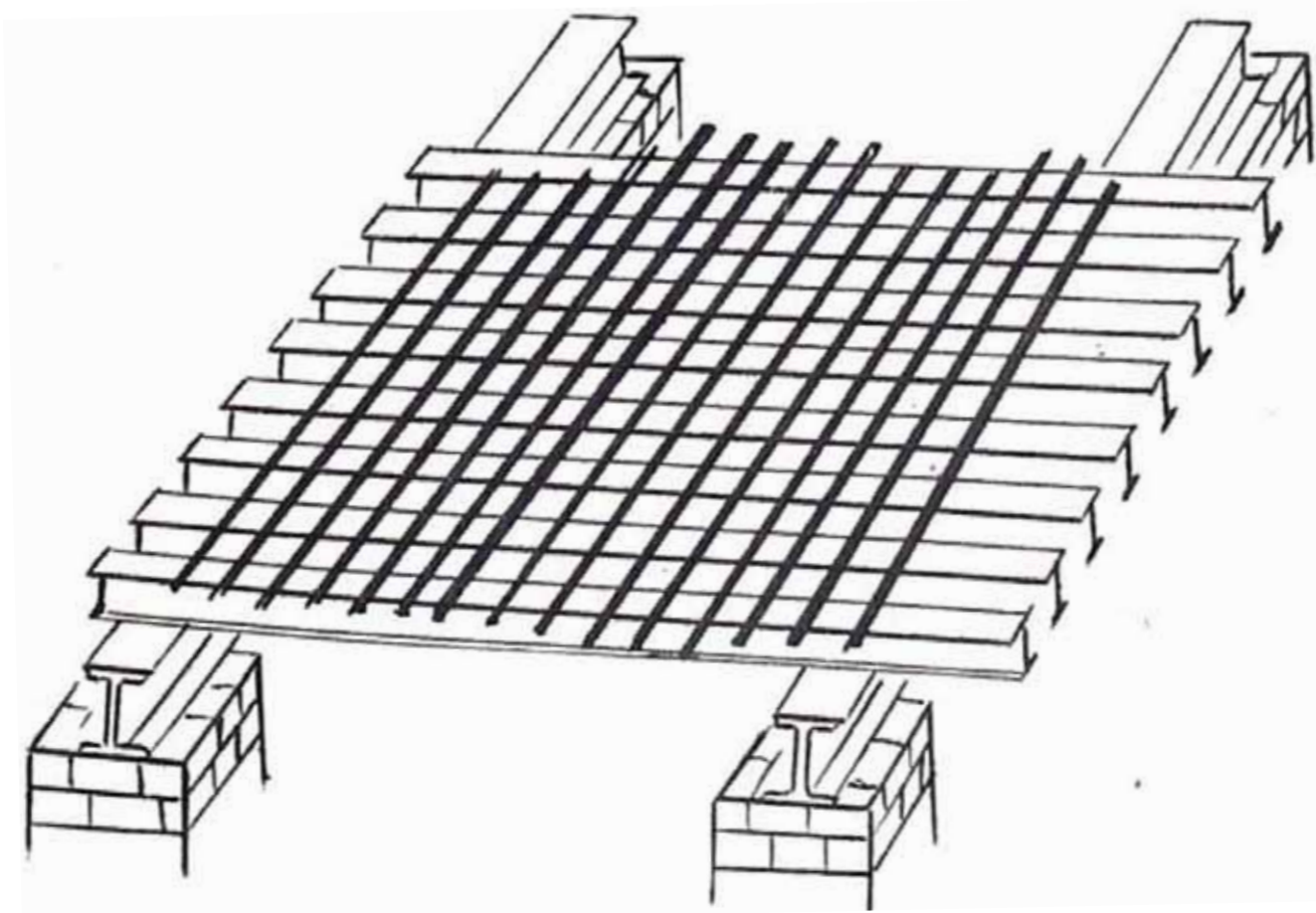


Fig. 16

Poniendo las vigas de 6" a 12" entre centros necesitaremos 20 de ellas para la zona de fusión. El largo será de unos 18 pies excepto para cuatro de ellas que han de ser más largas para sostener la casa de perro y por lo tanto tendrán 22 pies. Para la garganta se usará vigas del ancho total. En la zona de trabajo como es semicircular las longitudes requeridas serán menores, necesitándose 4 de 18 pies y las restantes 6 entre 17 y 12 pies.

Se escoge aquella viga I que tenga más sección y más ancho. en la Tabla de vigas I (Referencia 9) encontramos la siguiente:
Viga de 6" Sección 5.02 pulg.² Peso: 17.25 lbs por pié.

Las varillas de 1/2 x 1 se colocan a 6" entre centros y por lo tanto su longitud será aproximadamente el doble de la longitud de las vigas de 6".

ENGATILLADO DEL HORNO

Los esfuerzos que se desarrollan en los arcos son conocidos y fáciles de calcular. En los arcos sometidos a altas temperaturas debido a la dilatación el arco tiende a deformarse, levantándose. También ocurre que la parte interior se dilata más que la exterior por la misma diferencia de temperatura lo cual desarrolla una fuerza adicional de compresión. Para tomar en cuenta estas consideraciones en fórmulas resulta bastante complicado por lo que en la práctica se calcula los esfuerzos como si los arcos trabajaran en frío y los elementos que han de resistir estos esfuerzos se diseñan con altos factores de seguridad.

Para controlar los esfuerzos de los arcos se establece un sistema de vigas laterales que se mantienen unidas por pares mediante tirantes. Las vigas de acero que se usan con este fin pueden ser vigas I

o vigas canal. Las primeras son de mayor eficiencia mecánica pero generalmente son las más ineficientes desde el punto de vista térmico porque la cara interior está mucho más caliente que la exterior debido a la pequeña sección.

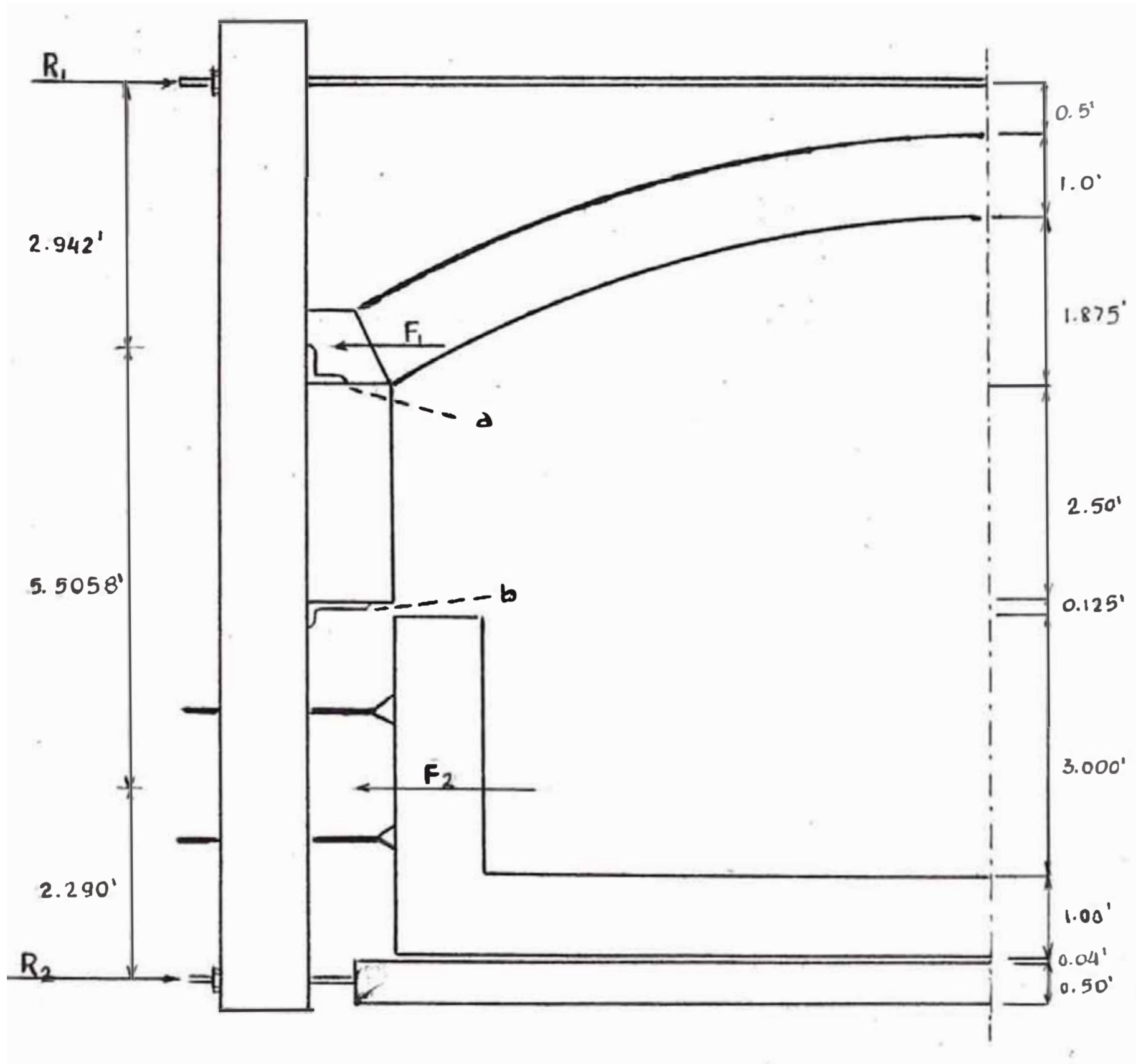


Fig. 17

Vigas laterales del horno

La fórmula aproximada que dá los esfuerzos laterales del arco:

$$F = \frac{W}{2} \cotg \frac{\theta}{2}$$

Como θ es 60° , la \cotg de la mitad del ángulo o sea 30° es $\sqrt{3}$

El peso de la bóveda es: 33400 lbs. (Pág. 118)

El largo de la parte correspondiente a la zona de fusión es 1'8 pies. Una separación de 5 pies es usual en este tipo de hornos; por consiguiente colocando cuatro vigas (dos en los extremos y dos

centrales), las distancias entre centros serán de:

$$\frac{18}{3} = 5 \frac{2}{3} \text{ pies.}$$

Aunque el conjunto de vigas trabaja como una viga continua, para el cálculo de los esfuerzos consideraremos que cada viga trabaja separadamente sosteniendo la parte de bóveda comprendida entre los puntos medios de la distancia entre vigas. Esto introducirá un mayor coeficiente de seguridad en las dimensiones.

El esfuerzo horizontal del arco es pues:

$$F_1 = \frac{1}{2} \times \frac{33400 \times 5,2/3}{18} \times \sqrt{3} = 8180 \text{ lbs.}$$

Tenemos que considerar también el esfuerzo hidrostático del vidrio líquido dentro del horno pues este esfuerzo es recibido por las mismas vigas que sirven para sostener la bóveda.

La densidad del vidrio líquido a 2650° F. es 134 libras por pie cúbico y a 2000° F. es 140. Consideraremos en general dicha densidad en 140 libras/pie cúbico.

Siendo la altura de tres pies la presión media será:

$$\frac{3}{2} \times 140 = 210 \text{ lbs.}$$

La presión total en un ancho de 5 2/3 pies será:

$$\begin{aligned} F_2 &= 210 \times 5.67 \times 3 \\ &= 3570 \text{ lbs.} \end{aligned}$$

Las reacciones son:

$$R_1 \times 10.29 = 8180 \times 7.348 + 3570 \times 2.29$$

$$R_1 = 6630 \text{ lbs.}$$

$$R_2 = 8180 + 3570 - 6630$$

$$R_2 = 5120 \text{ lbs.}$$

El momento de flexión máxima en la viga es:

$$M = 6630 \times 2.942 = 19500 \text{ pie-libras.}$$

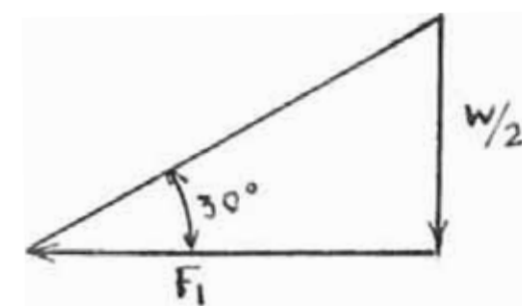


Fig. 18

El esfuerzo permitido para vigas de acero es de 16000 lbs/pulg.²

$$\frac{I}{c} = \frac{19500 \times 12}{16000} = 14.6 \text{ pulg.}^3$$

Usaremos un factor de seguridad de alrededor de 3. En las Tablas de vigas escogemos como la más adecuada la siguiente:

Viga Canal 12". Peso por pié: 20.7 lbs. Pulg.³ = 21.4

Se necesitará dos vigas para cada miembro vertical. En total serán 10 vigas las que sostienen la bóveda de la zona de fusión.

Tirantes para estas vigas.- La tensión es (R_1) 6630 lbs.

$$\frac{6630 \times 3}{16000} = 1.24 \text{ pulg.}^2$$

El diámetro de varilla será:

$$\frac{3.14 \times d^2}{4} = 1.24$$

De donde:

$$d = 1.25''$$

La longitud de varilla que se necesita es de 19 pies (ancho del horno más ancho de vigas).

Vigas y tirantes para el sentido longitudinal

Las vigas y tirantes que se colocan en la pared posterior del horno no tienen por objeto controlar la dilatación de la pared. Estos esfuerzos son menores que los de las vigas laterales.

En total se usará cuatro vigas en esta pared. Las dimensiones se tomarán iguales a las de las paredes laterales; lo mismo se hace para los tirantes. Para la parte inferior en lugar de tirante se controla la reacción con un ángulo. Este será de 8 x 3 1/2 x 1/16; longitud: 15'

En general para todas las partes de fierro y acero se diseña con holgura en las dimensiones debido a que el costo de estas partes es relativamente pequeño comparado con el de los refractarios.

Miembros horizontales

1.- Para sostener la bóveda (ángulo a)

El esfuerzo vertical lo dá directamente el peso. Este es el peso de la bóveda y de los arranques (lista de materiales pag. 118)

$$\text{El peso: } \frac{33400 + 2970}{2 \times 20} \times 5.67 = 5160 \text{ lbs.}$$

El esfuerzo horizontal ya hemos visto que es 8180 lbs (F_1) Siendo mayor, lo usaremos de base para los cálculos. Aquí nuevamente consideraremos únicamente el segmento comprendido entre dos vigas a pesar de que el ángulo que sostiene la bóveda está sujeto al trabajo de una viga continua con una carga uniformemente repartida.

$$M = \frac{1}{8} W l$$
$$= \frac{1}{8} \times 8180 \times 5.67$$

$$M = 5800 \text{ pies-libras.}$$

$$\frac{I}{c} = \frac{5800 \times 12}{16000} = 4.35 \text{ pulg.}^3$$

Será suficiente considerar aquí un coeficiente de seguridad de 2; El ángulo que resulta adecuado es:

$$\text{Angulo: } 6 \times 6 \times 1 \text{ . Peso: } 37.4 \text{ lbs/pié. } I/c = 8.6 \text{ pulg.}^3$$

Siendo el ángulo simétrico, no hace falta calcular los esfuerzos y momentos verticales.

2.- Angulo que sostiene la pared (ángulo b)

Peso por sección:

$$5.67 \times 2.5 \times 1 \times 110 = 1560 \text{ lbs.}$$

Momento de flexión:

$$1560 \times \frac{1}{8} \times 5.67 = 1150 \text{ pie-libra}$$

Sección necesaria:

$$\frac{1150 \times 12}{16000} = 0.862 \text{ pulg.}^3$$

El ángulo debe tener el lado horizontal mayor de 6" para el e-

quilibrio. Escogemos de la Tabla correspondiente:

Angulo 8 x 3 1/2 x 7/16. Peso: 16.5 lbs/pie. Pulg.³: 1.5

En la pared posterior usamos un ángulo igual.

Las longitudes de dichos ángulos son: para el primero el doble del largo de la cúpula de la zona de fusión o sea 40 pies.

Para el segundo, dicho largo es el anterior más la longitud de las paredes, o sea: 40 + 2 y además para la parte posterior: 16 pies. Del ángulo de 8 x 3 1/2 se necesitará pues: 56 pies.

Cúpula de la zona de trabajo

Los esfuerzos son más difíciles de calcular en este tipo de bóveda. Como aproximación suficiente sin embargo para calcular las vigas se puede asumir que el esfuerzo total se reparte entre las vigas como se ha hecho para la zona de fusión.

El peso es: 9730 lbs (pag.44)

El esfuerzo lateral correspondiente es:

$$9370 \times \frac{1}{3} = 16830 \text{ lbs.}$$

El perímetro es: 3.14 x 8 = 25.1'. Para una separación de 5 pies se necesita (25/5) = 5 + 1 = 6 vigas.

La presión sobre cada una será:

$$F_1 = \frac{16830}{6} = 2800 \text{ lbs.}$$

El empuje del vidrio será: (el peso específico se toma un poco mayor por estar aquí el vidrio un poco más frío)

$$F_2 = \frac{3}{2} \times 150 \times 3.14 \times 7 \times 3 \\ = 15000$$

Cada viga recibirá una presión de :

$$\frac{15000}{6} = 2500$$

Las reacciones son:

$$10 \times R_2 = 2800 \times 2.942 + 2500 \times 8$$

$$\begin{aligned} R_2 &= 2800 \\ R_1 &= 2800 \pm 2500 - 2800 \\ R_1 &= 2500 \end{aligned}$$

El momento máximo es:

$$M = 2500 \times 2.942 = 7400 \text{ pie-lb.}$$

Los esfuerzos en este tipo de cúpula son más imprecisos por lo que se considera factores de seguridad más altos. Tomando un factor de

5:

$$\frac{I}{c} = \frac{7400 \times 12 \times 5}{16000}$$

$$\frac{I}{c} = 28 \text{ pulg.}^3$$

Las vigas más aproximadas son 10" y 13.6 pulg.³

Usaremos 7 vigas Canal (dobles), en lugar de las 6 supuestas.

(Fig.19)

Tirantes para estas vigas

Usando el mismo factor de seguridad:

$$\frac{6}{7} \times \frac{2500 \times 5}{16000} = 0.672 \text{ pulg.}^2$$

Diámetro correspondiente a este área: (0.92 pulgada)

En la parte inferior como es difícil colocar tirantes se contrarresta la reacción en este punto con un ángulo. La sección necesaria es:

$$\frac{6}{7} \times \frac{2800 \times 5}{16000} = 0.9 \text{ pulg.}^2$$

Usaremos el ángulo de 7 x 3 1/2 x 3/8 cuya sección es 3.80 pulg.².

Longitud de este ángulo:

$$3.14 \times 8 = 25.1 \text{ pies}$$

La longitud de los tirantes será aproximadamente de 10 pies.

La tensión de estos tirantes es contrarrestada por una viga horizontal suspendida sobre la cúpula y sostenida por otras dos vigas (Fig.19)

Escala $\frac{1}{4}'' = 1'$

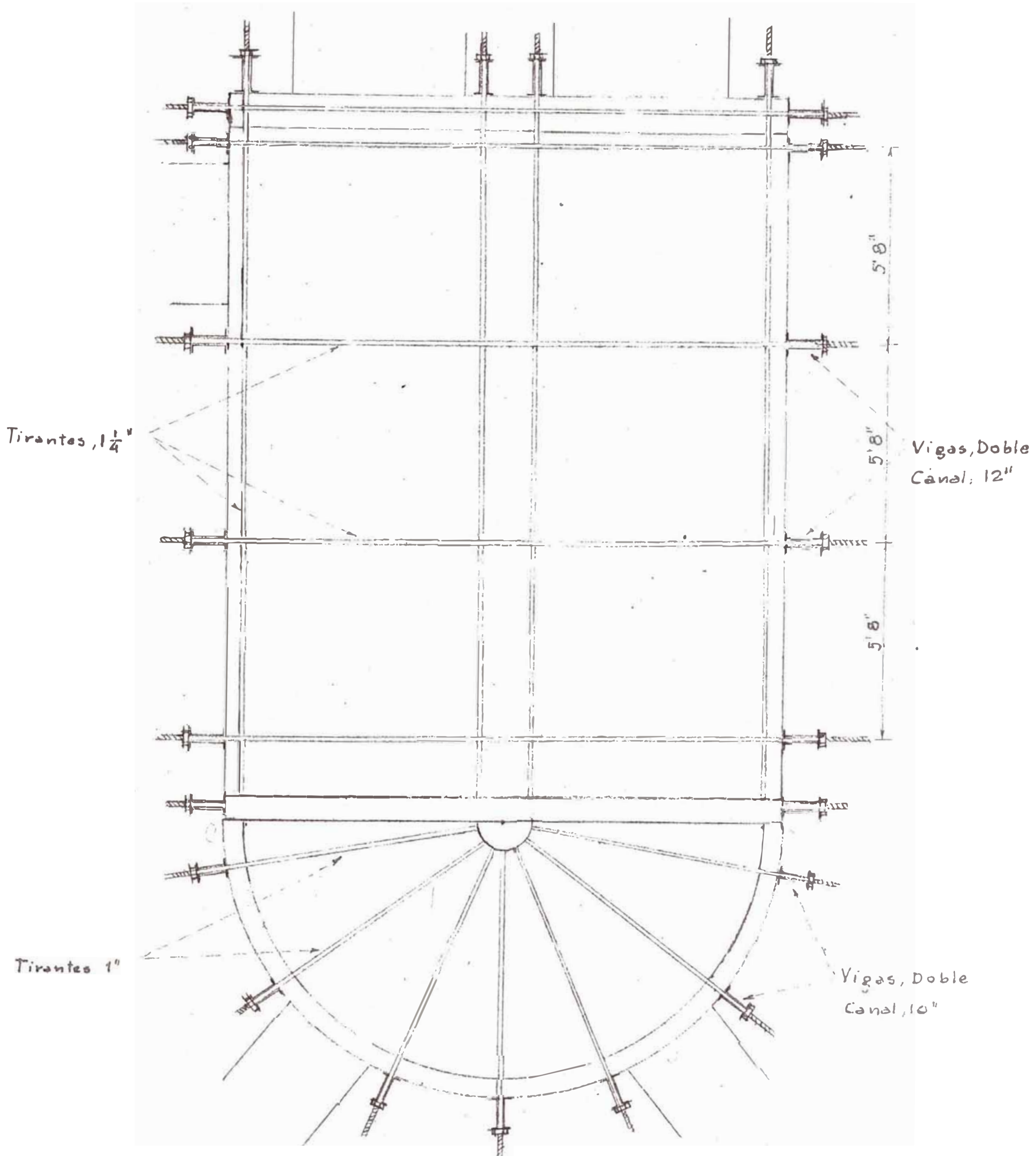


Fig 19 - Engatillado del Horna

El esfuerzo hidrostático del vidrio es transmitido a las vigas por un sistema de ángulos y pernos como se vé en le figura 20.

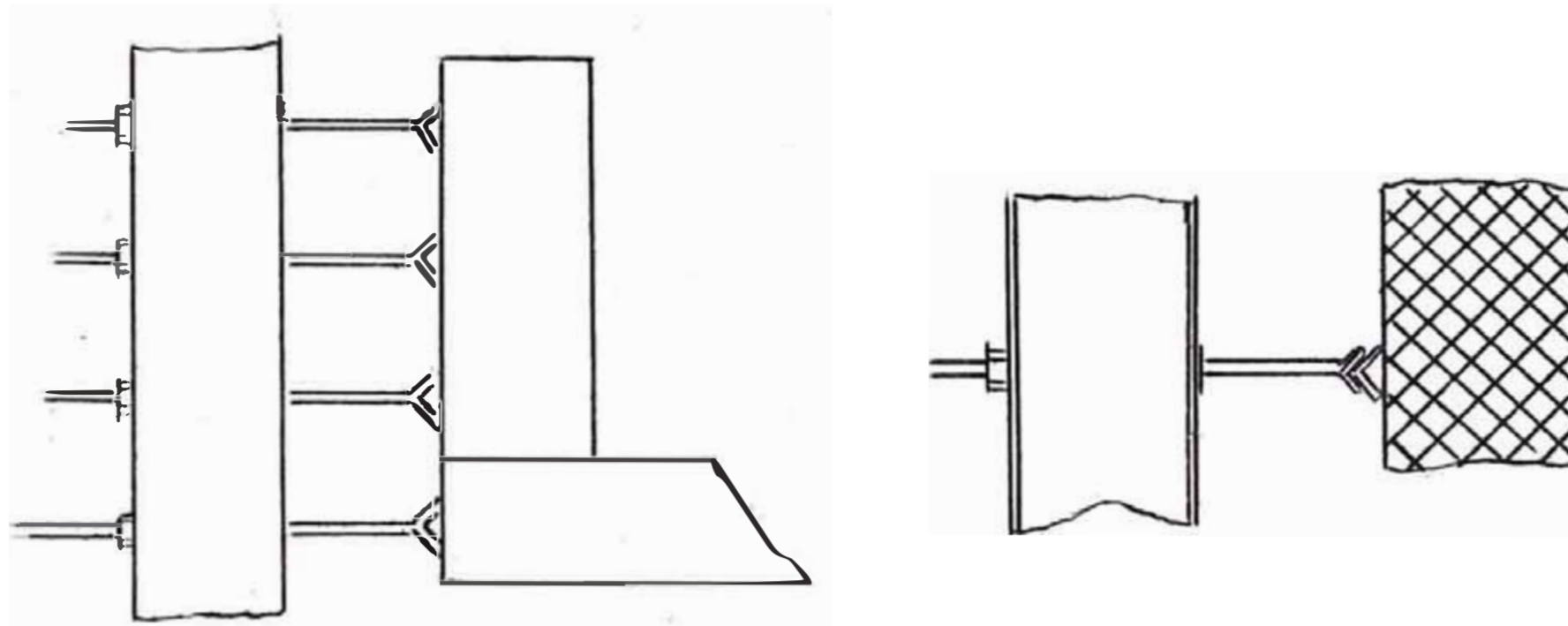


Fig. 20

La presión unitaria es bastante baja; usaremos la siguiente dimensión para todo el perímetro.

Angulo 2 1/2 x 2 1/2 x 1/8. Peso: 2.08 lb/pié

En aproximación grosera se puede calcular la longitud 4 veces el perímetro (incluyendo la longitud del puente).

El perímetro de la zona de fusión es:

$$(2 \times 14 + 2 \times 18) \times 4 = 256 \text{ pies.}$$

Para la zona de trabajo

$$(16 + 3.14 \times 8) \times 4 = 41 \times 4 = 164 \text{ pies.}$$

CIMENTACION DEL HORNO

Columnas de sostenimiento

Todo el horno está sostenido por un conjunto de columnas de ladrillo (pag. 45)

El largo de la zona de fusión es 18'; disponiendo en este sentido de 4 columnas, la distancia entre centros será de 6'. A lo ancho colocamos 3 columnas con una distancia entre centros de aproximadamente 7.5'. (El ancho del horno es 14' y las vigas laterales son de 12"). El esquema del conjunto está representado en la fig.(21-a)

Columna central (A)

Area soportada : $6 \times 7.5 = 45 \text{ pies}^2$

Peso soportado:

refractario (piso) $45 \times 1 \times 130 = 5850 \text{ lbs}$

vidrio (3pies alto) $45 \times 3 \times 150 = 20250$

vigas de Fe, ect. $\frac{3000}{29130} \text{ lbs.}$

Consideraremos dicho peso, 30000 lbs.

En Kgs. $\frac{30000}{2.2} = 13700 \text{ Kgs.}$

Las columnas son construidas con ladrillos comunes cuya resistencia es de 10 Kg/cm^2 para la compresión.

Por consiguiente se necesitará una sección de:

$$\frac{13700}{10} = 1370 \text{ cms}^2$$

Asumiendo la sección cuadrada:

$$\sqrt{1370} = 37 \text{ cm.}$$

El alto de dichas columnas será de unos 20 pies, o sea 6 metros.

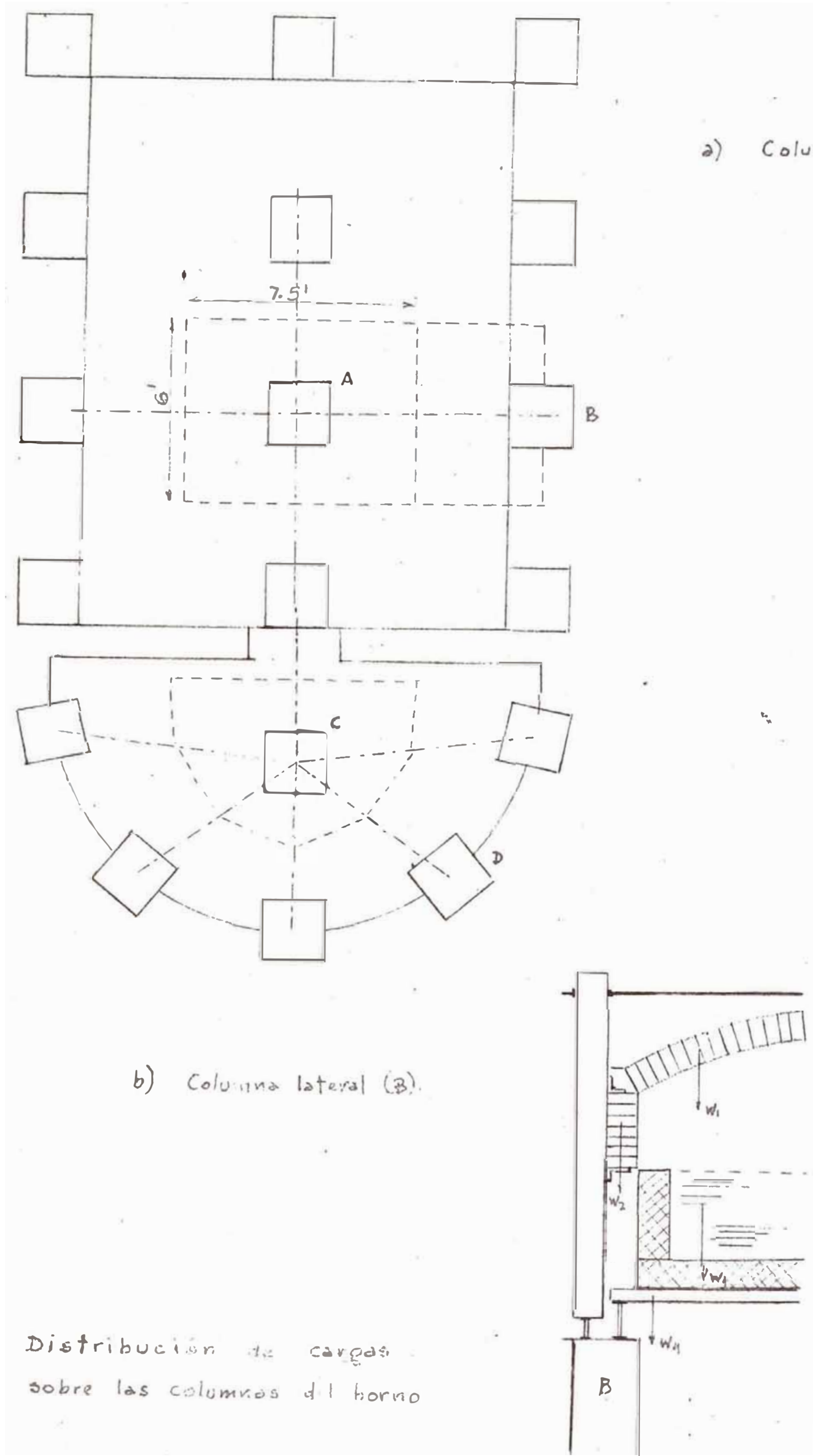
Para que las columnas trabajen únicamente a la compresión se necesita que la dimensión menor sea por lo menos de $1/10$ de la altura, esto es, para 6 m., 60 cms.

Como es preferible dar esta mayor sección que simplifica bastante el diseño y el ladrillo común es relativamente barato, las columnas centrales serán de 60 cms. (Como los ladrillos son de 24×12 , entrarán dos y medio ladrillos y con la mezcla el lado será de unos 64 cms)

Columnas laterales

El peso que soporta esta columna proviene parte del tank y la otra parte de la bóveda y de la pared superior (Fig. 24-b).

Estos dos últimos son para 5.67 pies 5160 y 1560 lbs. respectivamente (pág. 50) Como la longitud considerada es 6 pies:



$$W_1 = \frac{5160 \times 6}{5.67} = 5460 \text{ lbs.}$$

$$W_2 = \frac{1560 \times 6}{5.67} = 1650 \text{ lbs.}$$

El área soportada es la mitad de la correspondiente a una columna central; luego:

$$W_3 = \frac{26000}{2} = 13000$$

Por vigas, tirantes, etc. $W_4 = 4000 \text{ lbs.}$

Peso total:

$$W = 5460 + 1650 + 13000 + 4000 = 24110 \text{ lbs.}$$

La carga es aun menor que para las columnas centrales.

Y, por la misma razón, las columnas serán también de 64 cms. de lado.

En la zona de trabajo las cargas son aún menores.

Total de columnas: Zona de fusión : 12

Area de trabajo: 6

Carga unitaria

Las columnas más cargadas son las centrales con 13700 kgs.

El volumen de la columna es:

$$0.64 \times 0.64 \times 6.00 = 2.46 \text{ m}^3$$

Y el peso:

$$2.46 \times 1.8 = 4428 \text{ kg.}$$

Y el peso total es:

$$13700 + 4430 = 18130 \text{ Kgs.}$$

Y por cm^2 :

$$\frac{18130}{0.64 \times 0.64} = 4.42 \text{ Kg/cm}^2.$$

El área de cimentación será, pues, ligeramente mayor que el
de la columna.

Número de ladrillos necesarios:

$$0.06 \times 0.12 \times 0.24 \times 18 = 25,600 \text{ ladrillos.}$$

C A P I T U L O VI

CALENTAMIENTO DEL HORNO

BALANCE DE CALOR

Para conocer la cantidad de petróleo necesario para la combustión y por consiguiente de la cantidad de gases que han de ser impulsados hacia el horno y evacuados de él, necesitamos hacer el balance de calor del horno.

Los términos a considerar son:

Calor que entra:

- 1.- Calor sensible: a) materia prima
 b) aire de atomización
 c) aire de combustión
 d) petróleo.

2.- Calor de combustión.

Calor que sale:

- 3.- Calor de reacción (formación y fusión de los componentes del vidrio)
- 4.- Calor sensible a) vidrio producido
 b) gases provenientes de la reacción.
 c) gases provenientes de la combustión.
- 5.- Calor perdido por las paredes del horno.

Como lo que se desea determinar es precisamente el consumo de petróleo, calcularemos primero el calor usado o perdido en el horno por hora.

Enseguida los demás términos en función de 100 lbs. de petróleo.

Conociendo la cantidad de calor disponible por 100 lbs. de

petróleo y la cantidad de calor necesario se deduce fácilmente, el consumo.

Base: 1 hora de trabajo, para los términos conocidos.

100 lbs. petróleo, para los demás términos.

Temperatura base: 60° F.

Además se va a asumir las siguientes condiciones:

Temperatura de salida de los gases de combustión: 2700° F.

Temperatura de entrada del aire de combustión: 2200° F.

Temperatura máxima del vidrio en el horno: 2650° F.

Temperatura de trabajo del vidrio: 2000° F.

Temperatura ambiente: 70° F.

Calor de reacción

El calor de reacción es bastante impreciso, pues depende de la materia prima que se está usando y un mismo vidrio se puede obtener con materias primas diferentes como, por ejemplo, ocurre cuando se usa sulfato de sodio, en lugar del carbonato, como fuente de álcali.

Sin embargo un valor medio, para los cálculos, se puede obtener de la siguiente manera:

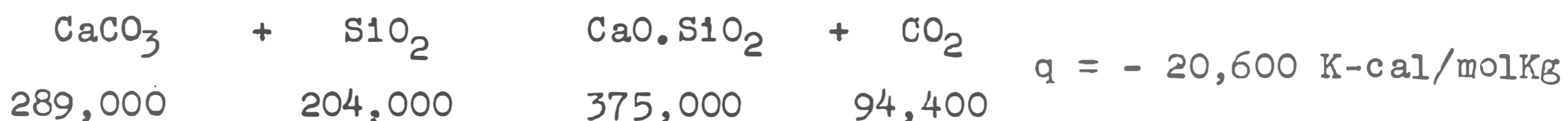
Composición del vidrio:

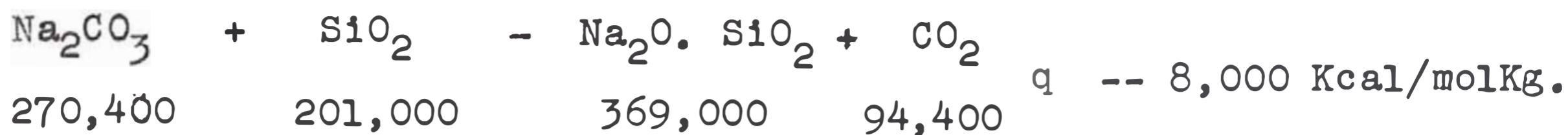
	o/o	Moles
SiO ₂	72	1.20
CaO	12	0.215
Na ₂ O	15	0.242

La fórmula molar del vidrio es, pues:



Los calores de formación de los silicatos son:





Calor de fusión de SiO₂ = 3,400 Kcal/molKg.

Aplicando estos valores en la fórmula (I) se obtiene un calor de reacción de 89 kcal/Kg para este vidrio o lo que es lo mismo:

$$89 \times 1.8 = 162 \text{ Btu./lb.}$$

Ya hemos dicho que este valor tendrá variaciones según la materia prima que se use para obtener la composición de vidrio deseada, según la cantidad de alúmina que contenga la arena, etc. Por esta razón tomamos un valor para el calor de reacción bastante mayor o sea 250 Btu/lb.

La cantidad de vidrio producida por hora es: 1470 lbs.(pág.18)

De esta cantidad sólo 88 o/o proviene de materia prima:

$$1470 \times 0.88 \times 250 = 323,000 \text{ Btu..... (3)}$$

Calor sensible del vidrio

El calor específico del vidrio entre 60 y 2000° F. es 0.28.

$$1470 \times (2000 - 60) \times 0.28 = 797,000 \text{ Btu (4a)}$$

Calor de los gases producidos en la reacción:

CO₂ : Moles producidas por hora: 6.0 (pág. 19)

$$(12 \times 2700 - 9.1 \times 60) \times 6 = 191,000 \text{ Btu.}$$

H₂O : Moles producidas por hora: 1.8.

$$(10 \times 2700 - 8.35 \times 60) \times 1.8 = 26,500$$

Calor de vaporización: 1,060 x 18 = 19,080 Btu.

$$(26,500 + 19,080) \times 1.8 = 82,000 \text{ Btu.}$$

Total:

$$191,000 + 82,000 = 273,000 \text{ Btu..... (4b)}$$

Pérdidas a través de las paredes del horno.

Las pérdidas que tienen lugar provienen principalmente por la radiación y la convección en las paredes exteriores del horno. Las pérdidas por conducción son negligibles.

En la página 64 se produce las curvas que dan las pérdidas por convección y radiación, ésta última considerando la radiación con un coeficiente de 0.9 (emisividad) (Ref. 4)

Para evaluar las pérdidas por una pared determinada disponemos de dichas curvas y de la conocida relación:

$$Q = \frac{K}{l} (t_1 - t_2)$$

Además, la temperatura t_1 para aquellas paredes que no están en contacto con el vidrio se puede asumir que están a una temperatura 50-100° más alta en la zona de fusión y prácticamente igual en la zona de trabajo.

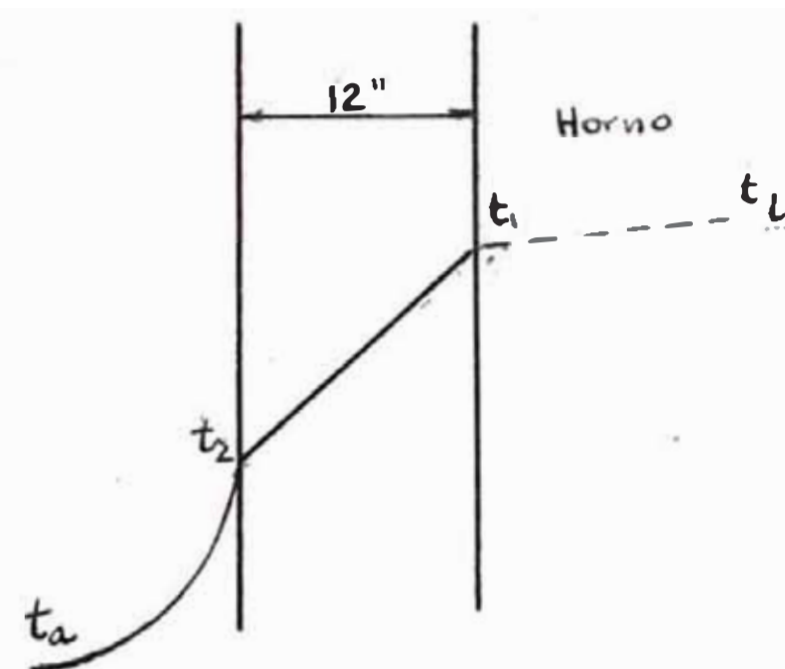


Fig. 22

La resolución se hace por tanteo, suponiendo un valor aproximado para t_2 y haciéndolo coincidir en la curva y en la ecuación.

Así para la bóveda, la temperatura interior t_1 se puede asumir en 2700° F. Como primera suposición hacemos $t_2 = 500°\text{F}$.

La pérdida correspondiente a una superficie a dicha temperatura la obtenemos en la fig. 23 en las curvas correspondientes y es 1800 Btu. Al mismo tiempo siendo la conductividad del ladrillo de Sílice, 10.7 y el espesor de la pared 1 pié:

$$Q = \frac{10.7}{12} (2700 - 500) = 1960 \text{ Btu.}$$

Como el valor en la curva resulta bajo, hay que asumir una temperatura de superficie exterior mayor. Esta segunda suposición será: $t_2 = 525°\text{F}$.

En la misma figura: $Q = 1950$ Btu

Y repitiendo los cálculos: $Q = 1940$ Btu.

Luego $Q = \underline{1950}$ Btu.

De la misma manera se obtiene para las paredes y la cúpula de la zona de trabajo: $Q = 1450$ Btu.

Paredes en contacto con el vidrio

Para calcular las pérdidas a través de las paredes que están en contacto con el vidrio hay necesidad de un cálculo adicional, pues la temperatura t_1 no es igual a la temperatura media del vidrio sino algo menor.

Esto se debe a que la pérdida de calor por las paredes provoca un enfriamiento en el vidrio cercano a ellas. Este vidrio a su vez recibe calor del resto de la masa y del horno mismo por conducción, convección y radiación. La conductividad total del vidrio fué obtenida experimentalmente por McCauley. (Ref. 13). La curva que dá la pérdida de calor en el vidrio está en la figura 23-b. Como la cantidad de calor perdido por los blocks es la misma que la que reciben del vidrio podemos igualar las tres ecuaciones (Fig.24)

El método es el mismo que para el caso anterior. Por ejemplo: la temperatura máxima en el vidrio la hemos asumido en 2650°F .

Primera suposición: $Tt_2 = 400^\circ\text{F}$.

Las pérdidas de la superficie exterior son 1080° Btu.

De la conductividad del refractario se deduce: $t_1 = 1750^\circ\text{F}$.

Y en la curva de McCauley, para $Q = 1080$, $t_1 = 2600^\circ\text{F}$.

Hay que asumir un valor de t_2 más alto. Esta segunda suposición es: $= 500^\circ\text{F}$.

Repitiendo los cálculos anteriores para este valor de t_2 , resulta: en la curva de la Fig. 23 $Q = 1720$ Btu.

Y en la Fig.24 para $Q = 1720$:

2530°F .

Por último en la ecuación de conductividad: $t_1 = 2520^{\circ}\text{F}$.

Siendo estos dos últimos valores prácticamente iguales, estos serán las temperaturas y transmisión de calor, bus-

cados. La gradiente de temperatura está indicada en la figura.

Como en esta caso particular hemos supuesto la temperatura del vidrio en 2550°F , los resultados obtenidos corresponden a la temperatura más alta; por consiguiente $t_1 = 2520^{\circ}\text{F}$. representa la mayor temperatura a la cual están expuestos los refractarios en contacto con el vidrio.

Ya hemos visto que las diferentes partes del horno contienen vidrio a diferentes temperaturas (pag. 31). Para nuestros cálculos será suficientemente aproximado asumir temperaturas medias para cada parte del horno.

Las temperaturas asumidas y los coeficientes de pérdida de calor correspondientes son los siguientes:

	Zona de fusión	Zona de trabajo
Paredes laterales	2500°F . -1600 Btu	2100°F . - 1100 Btu
Fondo	2350°F . -1350 Btu	2200°F . - 1200 Btu

Conociendo las pérdidas por pié cuadrado es suficiente multiplicar cada valor por el area de la superficie en cuestión para tener las pérdidas totales en el horno.

Pérdida total de calor por las paredes del horno

Las superficies que se toman en cuenta son las superficies medias o sea la media aritmética de las areas exterior e interior. En

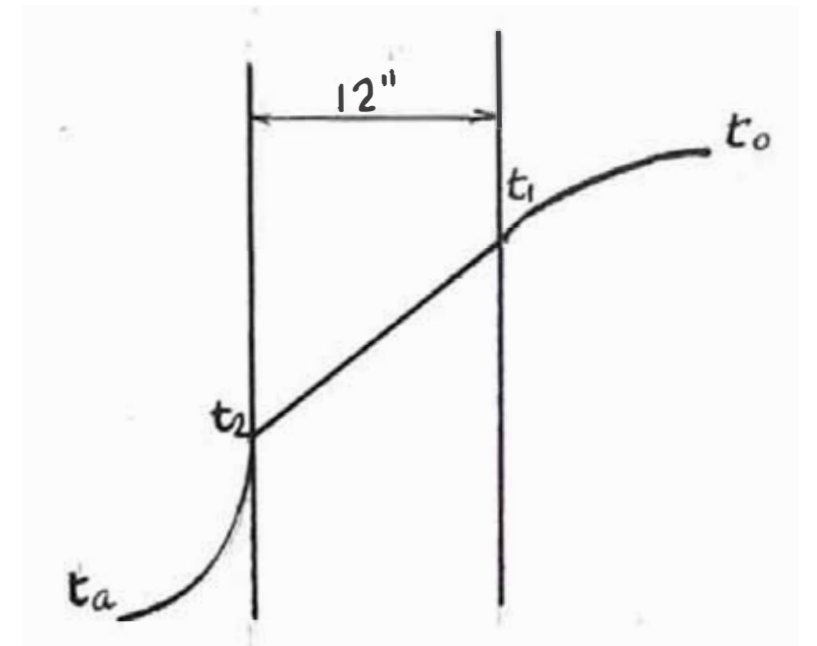


Fig. 25

nuestro caso las áreas medias son:

	Zona de fusión	Zona de trabajo
Tank: paredes laterales	191 piés ²	110 piés ²
fondo	230 "	92 "
Superestructura	125 "	61 "
Bóveda	274 "	104 "

Con los valores hallados en las páginas anteriores para la pérdida unitaria.

	Zona de fusión	Zona de trabajo
Tank: fondo	1350 x 230 = 310,500 Btu	1200 x 92 = 110,000 B
pared	1600 x 191 = 305,600 "	1100 x 110 = 121,000
Superestructura	1950 x 125 = 243,700 "	1450 x 62 = 90,000
Bóveda	1950 x 274 = <u>532,300</u> "	1450 x 104 = <u>151,000</u>
	1'392,100 Btu.	472,000 Btu

Total:

$$1'392,100 + 472,000 = 1'864,000 \text{ Btu} \dots \dots \dots (5)$$

Resumen parcial de calor utilizado o perdido en el horno (por hora)

Calor de reacción (3)	323000 Btu
Calor sensible	
Vidrio (4a)	797000 "
gases de la reacción (4b)	273000 "
Pérdidas por las paredes (5)	<u>1'864000</u> "
	3'257000 Btu.

Composición de los gases de combustión.

El combustible usado como ya se ha dicho es el petróleo.

Suponiendo la siguiente composición química:

$$C = 87\%$$

$$H = 13.$$

Aire necesario para la combustión. Base: 100 libras de petróleo.

Componentes	Porcentaje	Atomo lb. o mol. libra	Moles O ₂ necesarias
C	87	7.25	7.25
H	13	6.50	3.25

Total de Oxígeno necesario:

$$7.25 + 3.25 = 10.5 \text{ moles}$$

Aire correspondiente:

$$10.5 \times \frac{100}{21} = 50 \text{ moles.}$$

Asumiendo que se va a trabajar con un exceso de 10%: $0.1 \times 50 = 5$

$$50 + 5 = 55$$

Supondremos una humedad media del aire de 90% a 70°F.

En esta condición la cantidad de H₂O que contiene el agua es 0.024 mol H₂O por mol aire seco.

$$55 \times 0.024 = 1.32$$

Gases producidos por la combustión

CO ₂	7.25	7.25	12.17%
H ₂ O	6.50 + 1.32	7.82	13.13
O ₂	0.21 x 5	1.05	1.76
N ₂	0.79 x 55	<u>43.45</u>	72.94
		59.57	100.00%

Calor que sale con los gases de combustión

$$(7.25 \times 12 + 7.82 \times 10 + 1.05 \times 7.5 + 43.45 \times 7.5)2700 -$$

$$(7.25 \times 9.1 + 7.82 \times 8.35 + 1.05 \times 6.9 + 43.45 \times 6.9)60 =$$

$$\underline{1'611,000 \text{ Btu.}} \quad (4c')$$

Calor que entra al horno

Calor sensible de la materia prima:

El calor sensible de la materia prima es considerando un calor específico medio de 0.2 (este valor es bastante aproximado para la arena y la cal y un poco bajo para el carbonato de sodio).

$$1763 \times (70 - 60) \times 0.2 = 3,500 \text{ Btu. (por hora)..... (1a)}$$

Calor sensible del aire de atomización:

(Base: 100 lbs. petróleo)

Fracción de aire empleada para la atomización:

De una manera general depende del grado de atomización que se persigue.

Los valores dependen también del tipo de quemador. Valores típicos son los de la siguiente tabla de Hauck Manufacturing Company publicadas en "Fuels, Combustión and Furnaces".

Presión de aire (libras/pulgada cuadrada)	1/2	1	2	5	10	25
Porcentaje aire teórico para la atomización	52	42	33	25	18	15

En los hornos para vidrio en que se procura no tener demasiada atomización para obtener la llama luminosa convendría uno de los primeros tipos del cuadro anterior. Pero, por otro lado tampoco conviene aumentar el aire de atomización pues esto disminuye proporcionalmente el aire de combustión que entra a mayor temperatura por pasar por los regeneradores. Esta mayor temperatura no significa solamente una ventaja en el ahorro de combustible sino que facilita el trabajo a altas temperaturas. Por estas razones escogemos un tipo medio: el aire de atomización será el 33% total. (Y por lo tanto deberá ser enviado al quemador con una presión de 2 lbs/pulg.²).

Moles de aire usadas en la atomización para quemar 100 lbs. de petróleo.

$$0.33 \times 55 = 18.33 \text{ moles aire seco}$$

H₂O correspondiente:

$$18.33 \times 0.024 = 0.44 \text{ moles}$$

Temperatura de entrada: 70°F.

$$18.33 \times 7 \times (70 - 60) = 1283 \text{ Btu.}$$

$$0.44 \times 8.35 \times (70 - 60) = \frac{37}{1320} \text{ Btu.}$$

$$1283 \pm 37 = 1,320 \text{ Btu} \dots\dots\dots(1b')$$

Calor sensible del aire de combustión

$$\begin{aligned} \text{Volumen} & \quad 55 - 18.33 = 36.67 \text{ moles, aire seco} \\ & \quad 36.67 \times 0.024 = 0.88 \text{ moles H}_2\text{O} \\ 36.67 \times (7.4 \times 2200 - 7 \times 60) & = 581,530 \text{ Btu.} \\ 0.88 \times (9.55 \times 2200 - 8.35 \times 60) & = 18,050 \text{ Btu.} \end{aligned}$$

$$581,530 \pm 18,050 = 599,580 \text{ Btu} \dots\dots\dots(1c')$$

Calor sensible del petróleo

$$100 \times 0.45 \times (70 - 60) = 450 \text{ Btu} \dots\dots\dots(1d')$$

Calor de combustión del petróleo

Poder calorífico: 19,050 Btu/lb.

H₂O formado por la combustión: 6.5 moles por 100 lbs. de petróleo, o sea 0.065 por libra.

Calor de vaporización del agua:

$$0.065 \times 1060 \times 18 = 1,240 \text{ Btu.}$$

Bajo poder calorífico:

$$19,050 - 1,240 = 17,810 \text{ Btu/lb.}$$

$$\text{Por 100 lbs.: } 17,810 \times 100 = 1,781,000 \text{ Btu} \dots\dots\dots(2')$$

El poder calorífico depende de la composición química. Esta varía según el grado de refinamiento en que llega el petróleo, después de habersele extraído los combustibles livianos. En forma aproximada se puede calcular el poder calorífico de un petróleo en función de su peso específico o de los grados A.P.I. correspondientes.

El petróleo proveniente de Talara (en Septiembre) tiene una densidad de 0.87 a 20°C. Esta temperatura corresponde a 68°F.

Los grados A.P.I.:

$$\text{A.P.I.} = \frac{141.5}{0.87} - 131.5 = 19.6$$

En Perry, pag.2349, hay un gráfico que dá el poder calorífico en función de los grados A.P.I. y del cual se deduce el poder calorífico para éste petróleo, de 19050 Btu.

Para conocer el bajo poder calorífico necesitamos conocer la composición química del petróleo (o el valor experimental de los proveedores). Sin embargo para nuestros cálculos será suficientemente aproximado la composición asumida para el petróleo: C = 87% y H = 13%

El valor para el Hidrógeno es un valor alto por lo que el resultado que se obtenga usándolo será probablemente un valor un poco más bajo que el verdadero, que es un error en el sentido seguro.

Calor disponible en el horno

El calor proveniente del petróleo y del aire calculado para 100 lbs. de petróleo ha sido calculado con los resultados designados por lb', lc', ld', y 2. El calor que sale, sobre la misma base es 4c" La diferencia entre estos términos nos dará, pues, el calor disponible:

De las páginas anteriores para 100 lbs. de petróleo:

Calor <u>que</u> entra		Calor <u>que</u> sale	
lb	1.320 Btu	4c'	1'611,000 Btu.
lc'	599,580 "		
ld'	450 "		
2'	1'781,000		
	2'382,350 Btu.		1'611,000 Btu.

Calor que queda en el horno:

$$2'382,350 - 1'611,000 = 771,350 \text{ Btu.}$$

Consumo de Petr6leo:

Este valor corresponde a 100 lbs. El calor total requerido es segun el resumen parcial de la pagina 66 : 3'257,000 Btu.

La cantidad de petr6leo necesaria es por consiguiente por hora:

$$\frac{3'257,000}{771,350} \times 100 = 422 \text{ lbs.}$$

Balance de Calor

Con este dato podemos completar tambien el Balance de calor. Para ello, multiplicamos por 4.22 todos los terminos que habian sido calculados en funci6n de 100 lbs. de petr6leo.

<u>Calor que entra</u>	<u>Btu.</u>	<u>Calor que sale</u>	<u>Btu.</u>
1.-Calor sensible		3.- Calor de reacci6n	323,000
a)materia prima	3,500	4.- Calor sensible	
b)aire-atomizaci6n	5,600	a)vidrio	797,000
c)aire-combus-		b)gases-reacci6n	273,000
taci6n	2'530,000	c)gases-combustaci6n	6'798,000
d)petr6leo	1,900		
2.-Calor de com-		5.-P6rdidas-paredes	1'864,000
bustaci6n	7'514,000		10'055,000
	10'055,000		

Eficiencia t6rmica de la planta:

(Para el horno nuevo)

$$\frac{323000 + 797000}{10'055000 - 2'530000} \times 100 = 14.9\%$$

Variaciones en las p6rdidas de calor

El balance de calor asi obtenido puede aceptarse como bastante aproximado para un horno nuevo en condiciones normales de trabajo. Sin embargo estas condiciones varian con el tiempo de trabajo del horno por lo cual es preciso tomar en cuenta estas variaciones.

La principal alteraci6n ocurre con la corrosi6n de las pare-

des por la cual al disminuir el espesor aumenta lógicamente la cantidad de calor que pasa por dichas paredes. Esto equivale a un aumento en el ángulo (Fig.26)

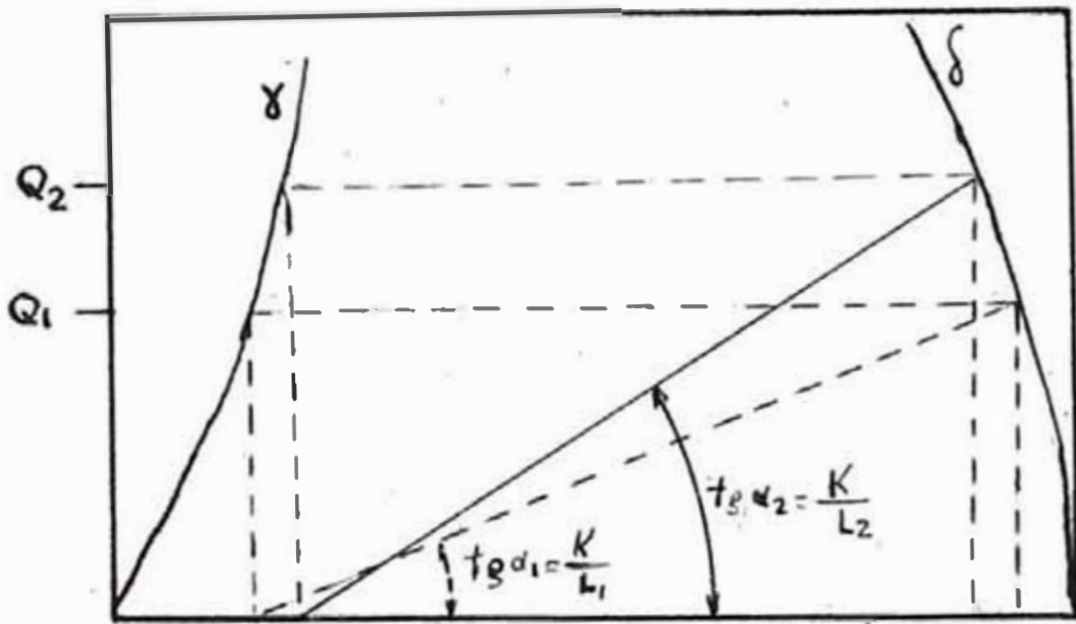


Fig. 26 - Efecto de la disminución del espesor de la pared

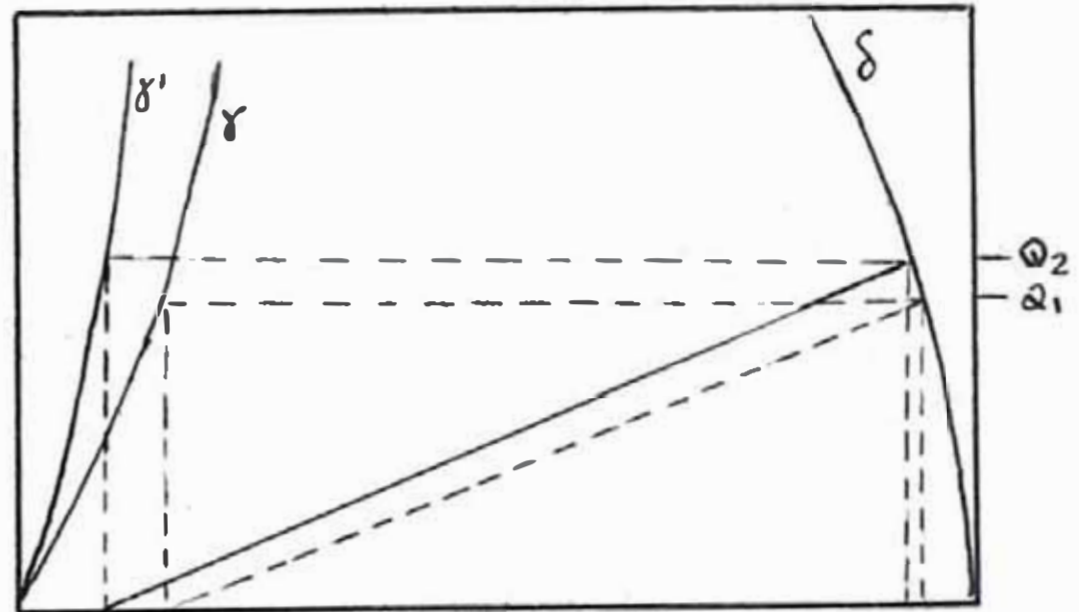


Fig. 27 - Efecto de la convección forzada (ventilación).

Para disminuir la corrosión en los refractarios en los puntos de mayor temperatura o en los cuales el flujo del vidrio es más fuerte se usa generalmente la ventilación de aire a baja presión. Con esta ventilación se logra bajar la temperatura de los refractarios y del vidrio en contacto con ellos. El efecto general es una mayor pérdida de calor por convección. En la Fig. 27 se muestra el aumento de pérdida de calor correspondiente a la refrigeración.

(Otras fuentes de alteración son las transformaciones moleculares de los refractarios que cambian su coeficiente de conductividad, lo mismo que las rajaduras y las aberturas que cambian el sentido el flujo y aumentan las pérdidas de calor).

En la eficiencia general de la planta el descenso se debe no solo al horno, sino también a la obturación de los regeneradores cuya eficiencia también disminuye.

Un ejemplo típico de consumo de combustible en un horno para vidrio a lo largo de su campaña es el que sigue:

Meses de vida	Aumento en consumo
1	0 %
13	15
25	31

En nuestro diseño hemos encontrado necesario para el horno 422 lbs. de petróleo por hora. Para el cálculo de regeneradores, conductos y línea de petróleo debemos considerar, pues, que este consumo ha de aumentar en una proporción de 25 a 30%, en los últimos meses de la campaña:

APARATOS AUXILIARES

Quemadores

El quemador que se usa determina el tipo de llama y por lo tanto su selección tiene que estar estrictamente de acuerdo con las condiciones que se asumieron para el diseño del horno. Ya hemos dicho (pag.68) que el quemador con atomización por aire a baja presión es uno de los más adecuados para conseguir estas condiciones.

El quemador será también de mezclado exterior o sea que el aire y el petróleo no se encuentran dentro del quemador. (Estos quemadores son sumamente sencillos siendo factible su fabricación local lo cual permite ajustarlos a las condiciones particulares de cada horno).

La operación de estos quemadores se favorece con una presión de petróleo de 20 a 30 lbs., según la viscosidad del petróleo.

Se necesitarán dos quemadores para trabajar alternadamente en períodos coincidentes con los cambios de válvula de los regeneradores, trabajando, cada quemador con la cámara del mismo lado.

Capacidad del quemador:

El consumo de petróleo para el horno nuevo es 420 lbs. por hora. Para el horno después de varios meses de campaña será cerca de 30% mayor o sea 540 lbs.

Se clasifica los quemadores por su capacidad en galones por hora. La densidad del petróleo es 0.87. En libras por galón:

$$0.87 \times 2.2 \times 3.785 = 7.26$$

Capacidad: con 10% exceso como factor de seguridad:

$$\frac{540 \times 1.10}{7.26} \quad 80 \text{ galones por hora.}$$

Bomba de petróleo

Como la misma bomba vá a servir también para enviar el petróleo a los alimentadores y a la templadora vamos a asumir el volumen en un 20% mayor. Este volumen es:

$$\frac{540 \times 1.20}{7.26 \times 60} = 1.5 \text{ galones por minuto.}$$

La presión necesaria en el quemador es menor de 30 lbs. pero teniendo en cuenta pérdidas de energía en la tubería, filtros, válvulas, etc. vamos a necesitar una presión de salida de la bomba mayor. Esta será de 50 lbs.

En el Catálogo de la casa Worthington Pump & Machinery Corp. encontramos la siguiente bomba.

Bomba rotatoria con válvula relief incluida:

Símbolo: GA-1 Capacidad 1.6 galones/minuto a 850 rpm.

H.P. = 0.13 para 50 lbs presión y 0.19 para 100 lbs.

Bomba de aire

La cantidad de aire necesaria en la atomización es (pag. 68) 18.33 moles aire seco o sea 18.77 moles aire húmedo, por cada 100 lbs. de petróleo.

Para 540 lbs. de petróleo se requerirá (en pies³ por minuto):

$$\frac{18.77 \times 5.40 \times 380}{60} = 640 \text{ piés}^3/\text{minuto (60°F.)}$$

Teniendo en cuenta variaciones en la temperatura, escapes de aire y también para tener libertad de operación asumiremos este consumo 25% mayor:

$$640 \times 1.25 = 800 \text{ piés}^3$$

La presión del aire es (pag. 68): 2 lb/pulg².

Esos tipos de bomba más apropiados para estas condiciones son la bomba rotativa y el compresor centrífugo. Preferimos este último por ser más sencillo y por no necesitar válvula relief en los cambios de quemador.

Potencia requerida por la compresión centrífuga:

El radio de compresión es:

$$\frac{14.7 + 2}{14.7} = 1.14$$

"Altura" adiabática, (Chem. Eng., Tabla 4, pag. 134, XI-1947)

$$H_a = 3600,$$

Esto es para 60°F. Para temperatura mayor hacemos una corrección de 10%:

$$3,600 \times 1.10 = 4,000$$

En Chem. Eng. pag.119, Tabla 3. L-1948

para H_a 4000 y $V = 800$; H.P. necesario: 8.0

Tanque de petróleo

Consumo diario:

En los meses de mayor consumo: $\frac{540 \times 24}{2205} = 5.9$ Tons.

(A esto hay que agregar el consumo del alimentador y de la templadora).

Es conveniente mantener una reserva equivalente al consumo de

20 días $6 \times 20 = 120$ Tons.

Volumen:

$$\begin{array}{r} 120 \times 1000 \\ 0.87 \times 3.785 \end{array} - 36,000 \text{ galones}$$

Para poder hacer limpieza y reparaciones es mejor usar dos tanques de 18,000 galones de capacidad.

El enfriamiento del vidrio en el horno por una falla en el sistema de combustión puede causar grandes perjuicios y pérdidas en la producción.

Por esto se instala generalmente las bombas y motores correspondientes en pares idénticos y dispuestos de tal modo que sea fácil el alternarlos en el trabajo.

C A P I T U L O VII

REGENERADORES

Las cámaras de regeneración de calor se diseñan con el objeto de utilizar el calor sensible de los gases de combustión que salen del horno. Este calor es recibido (en parte) por el aire, consiguiéndose así a la par que una mayor temperatura, una disminución de las pérdidas de calor.

La cámara de aire además funciona como chimenea con cuyo tipo se suministra el aire secundario o de combustión y obviando así la necesidad de suministrar dicho aire con ventilador.

Es importante que los dos regeneradores mantengan una simetría completa respecto al eje del horno, y que esta simetría abarque a todo el conjunto formado por los conductores de los gases y la válvula de cambio pues de otra manera el calentamiento sería irregular.

Diseño de los regeneradores

En el diseño de los regeneradores hay una gran serie de factores que tomar en cuenta. Algunos de ellos quedan, sin embargo, fijados por las condiciones en que se desea trabajar y otras por razones prácticas, reduciéndose así el número de variables y permitiendo fijar las dimensiones de la cámara por unas pocas ecuaciones.

Los factores a tenerse en cuenta son:

- 1.- Temperatura de entrada de los productos de combustión y temperatura de salida para el aire de combustión.
- 2.- Frecuencia del cambio de válvula.
- 3.- Ladrillos usados.
- 4.- Disposición de los ladrillos.
- 5.- Velocidad de los gases.

Temperaturas

La temperatura de entrada de los gases de combustión puede considerarse un poco más alta que la temperatura media del vidrio. Como esta es de 2600 a 2650°F., la segunda debe ser alrededor de 2700°F.

La temperatura hasta la cual se calienta el aire la asumimos en 2200°F. Generalmente cuando se trata de obtener eficiencias mayores en los regeneradores el aumento considerable de superficie requerida no es compensado por la recuperación adicional de calor conseguida.

Frecuencia del cambio de válvula

Un período largo requiere un ladrillo más grueso porque la cantidad de calor que se almacena es mayor. También baja la transmitancia pues disminuye la diferencia de temperatura entre los gases y los ladrillos. Esto hace que baje la temperatura del aire que entra al horno. Por otro lado, en cada cambio hay una cantidad de aire caliente que va a la chimenea y una cantidad de gases que regresan al horno, lo cual produce disturbancias en el calentamiento. En hornos para vidrio como los ladrillos usados son iguales en casi todas las instalaciones lo cual da condiciones de trabajo muy semejante, se ha llegado a uniformar la longitud del período siendo este de 40 minutos o sea dos semiperíodos de 20 minutos.

Ladrillos usados

Debido a la baja conductividad de los ladrillos refractarios la transmitancia no aumenta para espesores mayores de 2". Para períodos de 30 minutos el ladrillo de 1.5 a 2 pulgadas de espesor es considerado óptimo. Los ladrillos más angostos tienen aún la ventaja adicional de presentar más superficie por pie cúbico de volumen. Pero en cam-

bio la eficiencia mecánica requiere ladrillos más gruesos; es así como el ladrillo de 9 x 4 1/2 x 2 1/2 se ha convertido en el ladrillo standard junto con el período de 40 minutos.

Las cualidades del ladrillo como calor específico, conductividad y peso específico son generalmente las correspondientes al ladrillo refractario de primera clase que es el que se usa para casi todo el regenerador en forma universal. En las partes altas sujetas a mayor temperatura se usa a veces ladrillos de mejor calidad aún.

Velocidad de los gases

Las altas velocidades favorecen la transmitancia en la convección pero al mismo tiempo aumentan las pérdidas de presión por fricción. Las velocidades usuales permitidas son de 10 pies por segundo siendo la tendencia sin embargo de disminuir éstas.

Disposición de los ladrillos.

La superficie de calentamiento es máxima (por unidad de volumen) cuando el ancho de los pasajes es aproximadamente igual al espesor del ladrillo. Además cuanto más pequeña la abertura aunque se reduce la transmisión de calor por radiación, se aumenta la de convección y esto, si bien resulta compensado en lo que a los gases de combustión se refiere, es una gran ventaja en el aire en el cual la influencia de la radiación es pequeña:

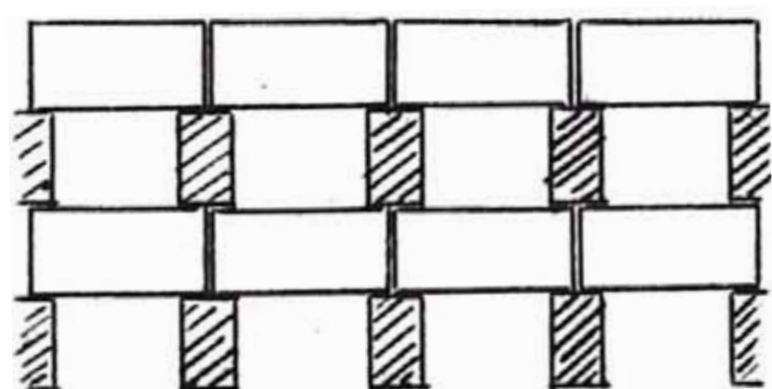
Ya hemos visto que por razones de resistencia mecánica de estabilidad, el ladrillo tendrá un ancho de 2 1/2".

Las areas de calentamiento correspondientes a este ladrillo según el ancho de pasaje se compara en la siguiente Tabla: (Trinks, pag. ;Re

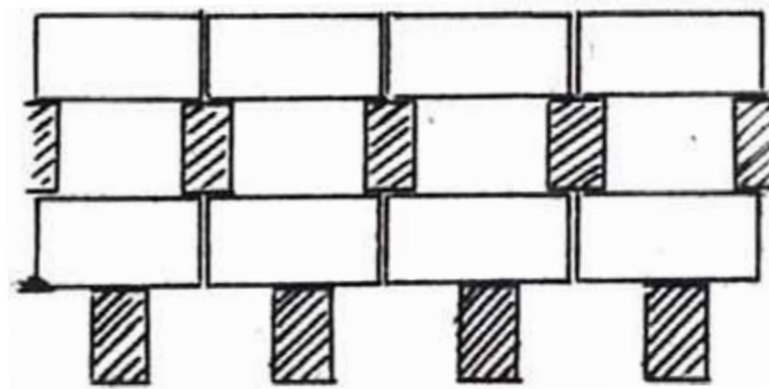
Ancho de pasaje	Sección transversal	Superficie Calent/celda	Superficie calent/p ³	Peso ladrillo p.pie cubico	Area libre Area total
2 1/2	0.173	0.949	5.48	62.5	0.250
4 1/2	0.342	1.378	4.04	44.8	0.412
6 1/2	0.562	1.805	3.21	34.7	0.52

Como se vé, además de una mejor conducción de calor, el pasaje más angosto presenta una mayor superficie de calentamiento por unidad de volumen de obra. Sin embargo tiene en contra un factor que obliga a desaprovechar estas ventajas. Ello es que los conductos pequeños se prestan más a la obturación por el material que viene en suspensión en los gases de combustión. Así las caídas de presión pueden llegar a ser tales que el tiro natural resulte deficiente para hacer llegar el aire necesario para la combustión.

Por esta razón se tiene que escoger conductos más grandes. Usaremos, pues, pasajes de 6 1/2 x 6 1/2"; dispuestos conforme se vé en la fig.28-a.



a - Pasajes rectos



b - Pasajes quebrados

Fig 28 - Formas en que pueden disponerse los ladrillos en las pilas

Volumenes de aire y gases

En la página 67 hemos calculado el aire necesario para la combustión de 100 lbs. de petróleo así como también el volumen y composición de los gases resultantes.

Para un consumo de 540 lbs., estos volúmenes son:

Aire

$$(55 \pm 1.32) \times 5.4 = 304.1$$

De esta cantidad los 2/3 corresponden al aire de combustión:

$$304.1 \times 2/3 = 202.7 \text{ moles.}$$

Gases

Además de los gases de combustión, hay una cantidad de gases provenientes de la reacción química en el horno (pag.19)

	Gases de combustión	Gases de reacción	Total	%
CO ₂	7.25 x 5.4 = 39.1	6.0	45.1	13.7
H ₂ O	7.82 x 5.4 = 42.2	1.8	44.0	13.4
O ₂	1.05 x 5.4 = 5.7	321.6	5.7	1.7
N ₂	43.45 x 5.4 = 234.6	329.4	<u>234.6</u>	<u>71.2</u>
			329.4	100.0

Volumen total de gases: 329.4 moles

Cálculo del coeficiente general de transmisión de calor

Para calcular la conductividad general del regenerador o transmitancia usamos la fórmula de Rummel que es la siguiente:

$$\frac{1}{x} = \frac{1}{ht_H} + \frac{1}{h't'H} + 0.4 \left(\frac{2}{cL\rho} + \frac{L}{2(t_H + t'H')} \right)$$

x = Transmitancia del período: Btu/pié²x per. x°F.

h = conductancia superficial (coeficiente de película) Btu/pié² x hora x°F.

L = Longitud de la línea de transmisión de calor, piés.

c, ρ y k = calor específico, peso específico y conductividad térmica del ladrillo usado.

t_H = duración del semiperíodo (en horas)

(Schack, pag. 242 Ref 8)

La conductancia de superficie h se calcula sumando las transmisiones por convección y por radiación.

La transmisión de calor por convección en regeneradores con conductos rectangulares fué hallada experimentalmente y expresada en la fórmula de H. Kistner para pasajes rectos:

$$h = 1.26 \times \frac{\sqrt{V_0}}{\sqrt[3]{D}} \quad \text{Btu/pie-hora-F.}$$

V₀, es la velocidad en piés por segundo; gases reducidos a condiciones

standard.

D, es el diámetro equivalente del pasaje.

Vamos a asumir una velocidad de salida del horno, para los gases, de 6 pies/seg. La temperatura: 2650°F., para tomar en cuenta las pérdidas de calor de los gases entre el horno y los regeneradores.

$$V_o = 6 \times \frac{60 \pm 460}{2650 \pm 460} = 1 \text{ pié/seg.}$$

Los pasajes son cuadrados de 6 1/2 x 6 1/2 o sea 0.542 pies por lado. El diámetro equivalente en el cuadrado es igual al lado. Luego, para los gases en la parte superior del regenerador será:

$$h_{cg} = 1.26 \frac{\sqrt{1}}{\sqrt{0.542}} = 1.55 \text{ Btu/pié}^2\text{-h-F.}$$

Para el aire, la velocidad será menor porque el area permanece invariable y la cantidad de gases es menor:

$$v = 1 \times \frac{202.7}{329.4} = 0.62$$

$$h_{ca} = \sqrt{0.62} \times 1.55 = 1.22 \text{ Btu/pié}^2\text{-h-F.}$$

La conductancia por radiación depende de la presión parcial de los gases considerados y del espesor de la capa de gas, en este caso determinada por la dimensión del pasaje. Ambas están relacionadas por el llamado "factor de absorción":

$$c = pL$$

p se puede asumir para el CO₂ y el H₂O igual a su porcentaje en la composición de los gases. L es en este caso 0.542 pies.

Luego:

$$c_{CO_2} = 0.137 \times 0.542 = 0.074$$

$$c_{H_2O} = 0.134 \times 0.542 = 0.073$$

Schack ha trazado curvas en las cuales dá la relación de dichos gases en función de c. Será suficiente aproximación considerar

una diferencia de temperatura entre los gases y los refractarios de 200°F. con lo cual en las Tablas correspondientes (Schack, pags.194 y 196) se puede obtener la radiación entre los gases y los refractarios:

$$q_{CO_2} = 6000 - 5000 = 1000 \text{ Btu/pié}^2\text{-hora}$$

$$q_{H_2O} = 6100 - 5200 = 900 \text{ Btu/pié}^2\text{-hora}$$

$$q_{total} = 1000 + 900 = 1900 \text{ Btu/pié}^2\text{-hora}$$

$$h_{total} = \frac{1900}{200} = 9.5 \text{ Btu/pié}^2\text{-h-F.}$$

La emisividad de los ladrillos a temperaturas altas se puede considerar mayor de 0.8. Considerando este valor:

$$r = 9.5 \times 0.8 = 7.6 \text{ Btu/pié}^2\text{-h-F.}$$

El coeficiente total de transmisión en la parte superior del regenerador pues:

$$h_{gas} = 7.60 + 1.55 = 9.15 \text{ Btu/pié}^2\text{-h.F.}$$

La radiación debida a la humedad del aire es bastante apreciable en las altas temperaturas. De modo que para el aire en la parte superior del regenerador:

$$c_{H_2O} = 0.024 \times 0.542 = 0.013$$

$$q_{H_2O} = 1100 - 800 = 300 \text{ Btu/pié}^2\text{-F.}$$

$$h_r = \frac{300}{200} = 1.5 \text{ Btu/pié}^2\text{-h-F.}$$

Para la emisividad 0.8:

$$1.5 \times 0.8 = 1.2$$

Y por último:

$$h_{aire} = 1.20 + 1.22 = 2.42 \text{ Btu/pié}^2\text{-h-F.}$$

Además:

$$L = 2 \frac{1}{2}'' = 0.208 \text{ piés}$$

$$c = 0.28 \text{ Btu/lb-F}$$

$$\begin{aligned} \rho &= 130 \text{ lbs/pié}^3 \\ k &= 0.75 \text{ Btu/pié-h-F.} \\ t_H &= t_{H1} = 0.33 \text{ hora.} \end{aligned}$$

Reemplazando los valores hallados y los datos en la fórmula de Rummel.

$$\frac{1}{x} = \frac{1}{9.15 \times 0.33} + \frac{1}{2.42 \times 0.33} + 0.4 \left(\frac{2}{0.28 \times 0.208 \times 130} \right. \\ \left. \frac{0.208}{2 \times 0.75 \times (0.33 \pm 0.33)} \right)$$

De donde:

$$x_{\text{sup}} = 0.57 \text{ Btu/pie-h-F.}$$

De la misma manera se obtiene la transmitancia en la parte inferior:

$$\begin{aligned} q_{\text{CO}_2} &= 1450 - 950 = 500 \text{ Btu/pié}^2\text{-hora} \\ q_{\text{H}_2\text{O}} &= 1500 - 1000 = 500 \text{ Btu/pié}^2\text{-hora} \\ q_{\text{total}} &= 500 \pm 500 = 1000 \text{ Btu/pié}^2\text{-h} \\ h_{\text{r gas}} &= \frac{1000}{200} = 5.0 \text{ Btu/pié}^2\text{-h-F.} \end{aligned}$$

La conductancia de convección es la misma: 1.5

Considerando una emisividad para los ladrillos a la temperatura de 1400 un poco más baja, asumimos esta en 0.75. Luego:

$$\begin{aligned} h_{\text{r gas}} &= 5 \times 0.75 = 3.75 \\ h_{\text{gas}} &= 3.75 \pm 1.55 = 5.30 \end{aligned}$$

La conductancia por radiación del aire a bajas temperaturas es despreciada. La conductancia por convección es la misma: $h_{\text{aire}} = 1.22$

Con estos dos valores, aplicando nuevamente la fórmula de Rummel:

$$x_{\text{inf}} = 0.31 \text{ Btu/pie-h-F.}$$

La transmitancia media puede considerarse como la media aritmética entre las transmitancias superior e inferior.

$$x = \frac{0.57 \pm 0.31}{2} = 0.44 \text{ Btu/pie-h-F.}$$

Cálculo de la superficie de calentamiento

Conociendo la cantidad de calor que se transmite por unidad o sea la transmitancia, el problema es idéntico al de cualquier otro intercambiador de calor y se puede resolver por fórmulas comunes.

Así, en la misma obra de Schack (pag.212) encontramos una ecuación general que relaciona la expresión $\frac{x A}{E}$ con E/E' y las temperaturas de los materiales que intervienen. Dicha ecuación es bastante compleja por lo que su solución está dada en forma de un grupo de curvas (Fig. 35, pág. 35)

E y E' son los llamados equivalentes de agua o sea la cantidad de agua en libras que tiene la misma capacidad calorífica que la cantidad de substancia en consideración.

Las temperaturas de ambos materiales se relacionan en un factor f , mediante la fórmula:

$$f = \frac{t_1 - t'_2}{t_1 - t'_1}$$

Para obtener los equivalentes de agua de los gases necesitamos conocer su capacidad calorífica. Ella es: (entre 1400 y 2650°F.)

$$\frac{13.7 \times 12.8 + 13.4 \times 10.4 + 72.9 \times 7.7}{100} = 8.75$$

El equivalente agua es:

$$E = 329.4 \times 8.75 \times 0.33 = 960$$

Asimismo para el aire (entre 60 y 2200°F.):

Capacidad calorífica:

$$\frac{97.7 \times 7.4 + 2.4 \times 9.5}{100} = 7.45$$

Equivalente agua del aire:

$$E' = 202.7 \times 7.45 \times 0.33 = 500$$

Estos equivalentes de agua serían valores exactos si no hubieran pérdidas de calor en los regeneradores. Estas pérdidas existen

sin embargo y la mejor forma de tomarlas en cuenta es disminuyendo el equivalente de agua del material más caliente y aumentando el del material más frío.

Asumiendo una pérdida de calor de 5% para cada cámara:

$$E = 960 \times (1 - 0.05) = 912$$

$$E' = 500 \times (1 + 0.05) = 525$$

$$\frac{E}{E'} = \frac{912}{525} = 1.74$$

t_1 , temperatura de entrada del material más caliente es 2650°F.

t'_1 y t'_2 son las temperaturas de entrada y de salida del material más frío o sea 70 y 2200°F.

Reemplazando estos valores en la relación dada anteriormente para f :

$$f = \frac{2650 - 2200}{2650 - 70} = 0.174$$

Para los valores de $E/E' = 1.74$ y $f = 0.174$ en la citada fig. 35, corresponde:

$$\frac{x A}{E} = 1.50$$

Como $x = 0.44$ y $E = 912$.

$$A = \frac{912 \times 1.50}{0.44} = 3100 \text{ piés}^2$$

Esta es la superficie de calentamiento necesaria.

Temperatura de salida de los gases.

Con la función f se puede obtener también la temperatura de salida de los gases, mediante la siguiente fórmula:

$$t'_2 = t_1 - (t_1 - t'_1) \frac{E'}{E} (1 - f)$$

$$t_2 = 2650 - (2650 - 70) \frac{1}{1.74} (1 - 0.174)$$

$$t_2 = 1400^\circ\text{F.}$$

Esta es la temperatura con la cual salen los gases del regenerador.

Dimensiones de las cámaras de regeneración

Sección necesaria:

El volumen de gases que pasa por segundo es:

$$\frac{329.4 \times 380}{3600} = 34.8 \text{ piés}^3 \quad (\text{a } 60^\circ\text{F.})$$

La velocidad reducida es de 1 pié/seg. (pag.82)

El área de pasaje debe ser, por consiguiente:

$$\frac{34.8}{1} = 34.8 \text{ piés}^2$$

Como los pasajes son de 0.542 x 0.542 o sea 0.294 piés²

$$n \times 0.294 = 34.8$$

De donde:

$$n = 118 \text{ pasajes.}$$

Las cámaras de regeneración tendrán un ancho aproximadamente igual al del horno. Como este ancho es de 16 piés, descontando unos 4 piés por el espesor de las paredes de las cámaras el ancho que queda es de 12 piés. Cada cámara tendrá, pues, 6 pies de ancho.

Ancho: 6 piés = 72 pulgadas.

Como se usa ladrillos de 9" el número de pasajes por fila será:

$$\frac{72}{9} = 8$$

El número de filas deberá ser:

$$\frac{118}{8} = 15$$

El largo será:

$$\frac{15 \times 9}{12} = 11.25 \text{ piés.}$$

Largo: 12 piés.

Número de filas: $\frac{12 \times 12}{9} = 16$

Número de pasajes:

$$8 \times 16 = 128.$$

Estas paredes serán de 13 1/2" de espesor, debido a su altura, y para disminuir aún más las pérdidas de calor, una hilera de ladrillos comunes.

Las dimensiones de estos ladrillos comunes deben ser lo más aproximadas posible a la de los ladrillos refractarios. Los ladrillos comunes que se encuentran en Lima, más apropiados, son los de 6 x 12 x 24 cms.

La pared divisoria de las cámaras será de 18". Si bien esta pared transmite calor por conducción por lo que convendría hacerla lo más delgada posible, ello no ^{se} puede hacer por el peligro de que se formen rajaduras o aberturas por las cuales el aire pasaría directamente de la cámara de regeneración a la chimenea sin entrar al horno.

En la parte superior se deja un espacio de 3 ó 4 pies completamente libre que tiene por función uniformar la temperatura del aire que vá al horno y de facilitar la distribución de los gases que van a pasar por el empilado.

La parte inferior y la superior se construyen en forma de arcos. Los de la parte inferior son de 4 1/2 de ancho y una luz entre arcos también de 4 1/2", permitiendo así el paso del aire y de los gases. Sobre estos arcos descansa todo el empilado.

Los de la parte superior forman la bóveda. Estos arcos están sostenidos por las paredes laterales.

Todos estos arcos son del mismo ancho que el de la cámara o sea de 6 piés de luz interior.

En la bóveda se construye una sección con arcos transversales a los principales para poder formar así la abertura de salida de la cámara. (Fig. 29)

Este incremento en el número de pasajes sirve de compensación porque los pasajes correspondientes a la periferia son más estrechos.

Altura

La superficie calentada por celda y por pié de alto se obtiene de la Tabla de la pag.79 y es, para pasajes de $6\frac{1}{2} \times 6\frac{1}{2}$: 1.805 piés².

La superficie total de calentamiento debe ser 3100 piés².

El número de pasajes es 128 pero por lo dicho más arriba, usaremos para el cálculo, 120.

$$120 \times 1.805 \times h = 3100$$

De donde:

$$h = 14.5 \text{ piés.}$$

Número de ladrillos que forman las pilas:

En cada hilera:

par	17 x 8	= 136	, 6
impar	9 x 16	= 144	

promedio: 140

Número de hileras:

$$\frac{14.5 \times 12}{4.5} = 39$$

El número de ladrillos necesarios es:

$$39 \times 140 = 5,460 \text{ ladrillos}$$

Por cada cámara. O sea 10,920 para ambas cámaras.

Construcción de las cámaras

Habiendo determinado las dimensiones interiores necesarias, el ancho y el largo serán los calculados, más el espesor de las paredes.

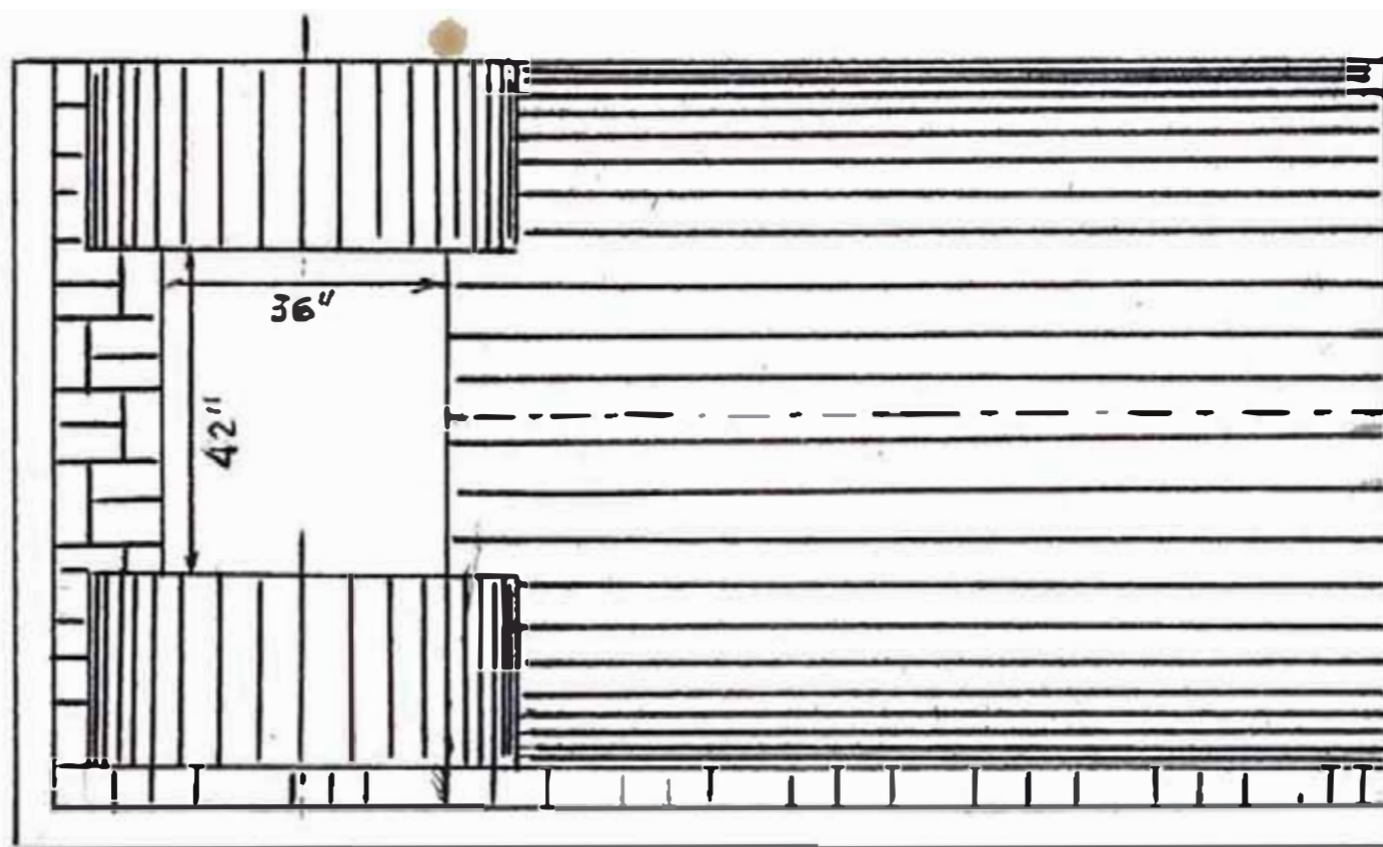


Fig 29 - Bóveda de una cámara

Engatillado del regenerador

El esfuerzo lateral de los arcos y el crecimiento del horno es controlado por un engatillado semejante al del horno pero de vigas de menor sección por ser los esfuerzos bastante reducidos.

Dispondremos las vigas verticales a una distancia entre sí de aproximadamente 5' por lo que se usará 4 en cada lado. El total necesario es, pues, 16. Estas vigas serán vigas I de 8".

Los tirantes usados serán de 3/4".

Los ángulos que transmiten el empuje lateral de los arcos a las vigas serán de 6 x 3 1/2 x 5/16 y tendrán una longitud de 14'. Se necesitará de estos ángulos para los arcos superiores e inferiores y por lo tanto se usará 4 ángulos en total.

En la parte inferior dichas vigas irán empotradas en concreto; generalmente se aprovecha para esto el cimiento mismo.

Peso de los regeneradores:

El peso total de las cámaras es:

ladrillos	443,000 lbs.
vigas, etc.	<u>4,400</u> "
	447,400 lbs.

La carga total es de 447,400 lbs. o sea 200,000 Kgs.

Se puede asumir que toda la carga es transmitida al suelo por medio de tres paredes y por lo tanto corresponderán a cada pared lateral $1/4$ de dicha carga y a la pared divisora el doble o sea $1/2$ del total.

$$\text{O sea } \frac{1}{2} \times 200,000 = 100,000 \text{ Kgs.}$$

$$\text{El área de contacto es de } 1.5 \times 15 = 22.5 \text{ piés}^2$$

$$22.5 \times 0.093 = 2.09 \text{ m}^2 \text{ o sea } 20,900 \text{ cm}^2$$

La carga unitaria es:

$$106,000 / 20,900 = 4.8 \text{ Kgs/cm}^2$$

Como se requiere excavación para conseguir la altura de los regeneradores el suelo será compuesto de hormigón que es lo frecuente en Lima a esa profundidad, y cuya resistencia unitaria es 4 Kgs/cm^2

Por esto el cimiento se construye más con el objeto de aislar las cámaras teniendo en cuenta la alta temperatura del fondo de los regeneradores (es 1400°F.)

En el perímetro se incluyen varillas de Fe para hacer frente a la expansión del cimiento mismo y del esfuerzo lateral de las vigas empotradas.

C A P I T U L O VIII

CONDUCTOS PARA LOS GASES.- (FLUES).

Los conductos por los cuales se mueven los gases y el aire de atomización llamados también por su nombre inglés "flues" son de sencilla construcción. Como hay dos cámaras de regeneración, el sistema es doble entre el horno y la válvula de cambio (Fig.30)

Las longitudes se procuran fijar en el mínimo posible para así disminuir las pérdidas de calor y por fricción. Las secciones transversales dependen, naturalmente de las velocidades que se desea mantener para los gases. En la práctica se ha llegado a un promedio de 8 a 12 piés por segundo para estas velocidades, obteniéndose con ellas dimensiones aceptables y pérdidas de calor y presión bastante pequeñas. En los flues que dan entrada al horno se admite velocidades mayores, para conseguir dimensiones de acuerdo al poco espacio disponible y para favorecer la mezcla del aire con el combustible.

Asumiendo estas velocidades, se obtienen las secciones correspondientes por las respectivas fórmulas de Geometría.

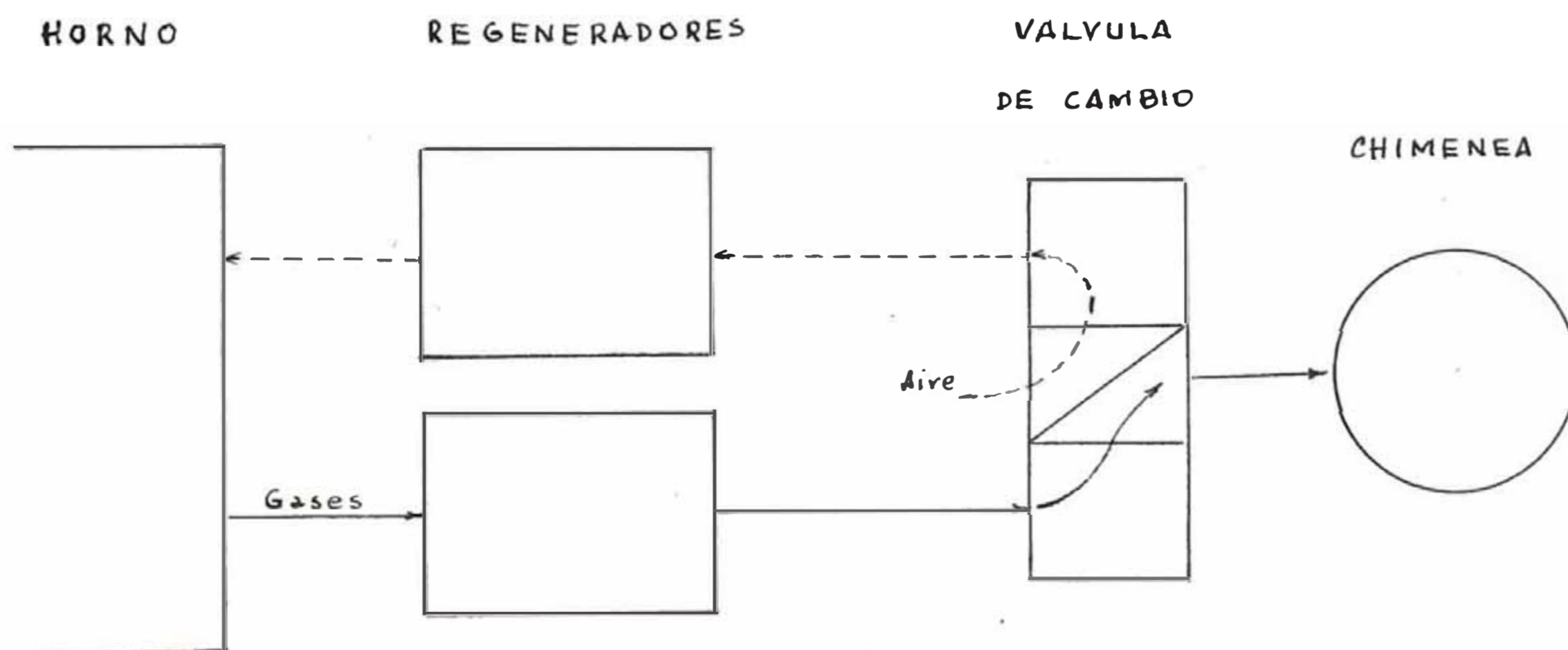


Fig. 30

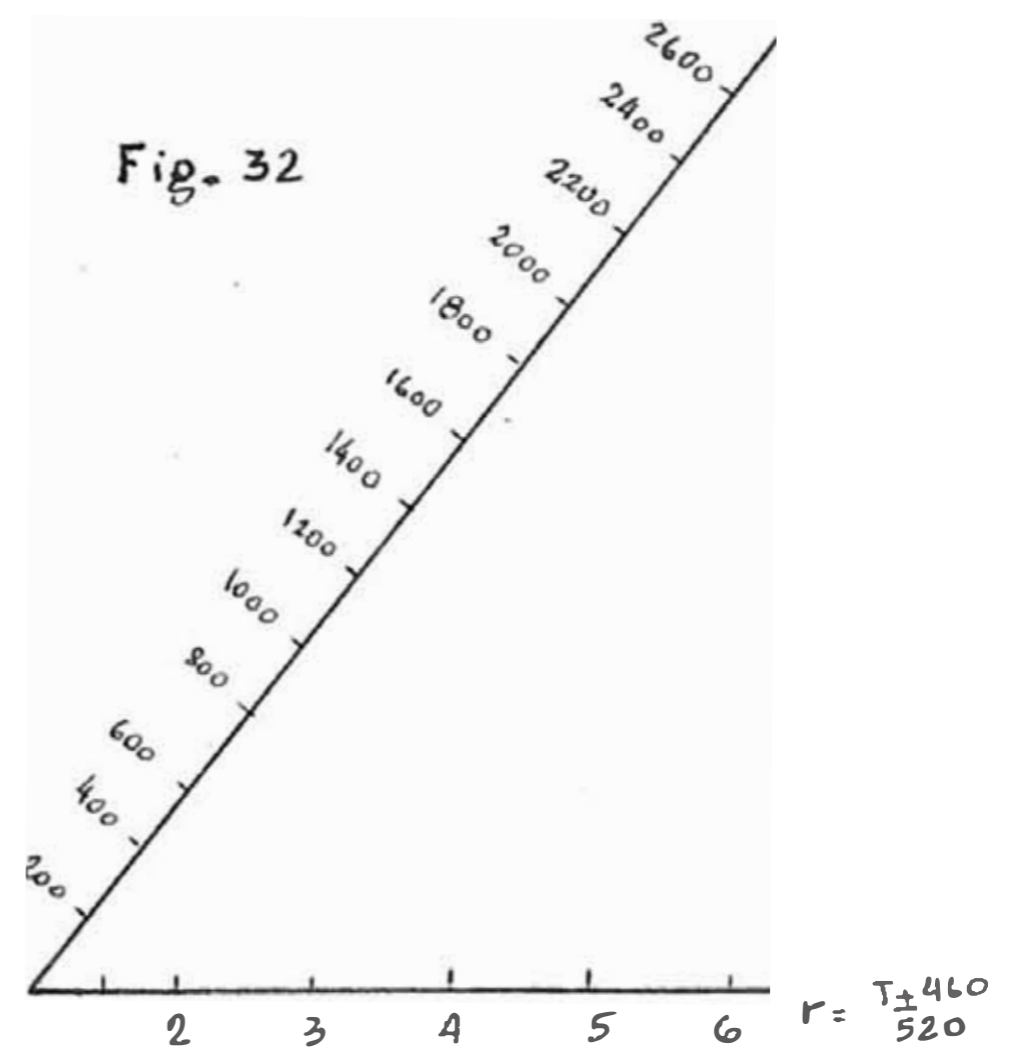
En la pag. 93 se muestra las vistas longitudinal y de plano de los regeneradores y de los flues así como también se indican las longitudes establecidas.

Cálculo de las secciones

Para calcular las áreas de las secciones indicadas en dichas figuras se debe tomar en cuenta las variaciones de temperatura de los gases a lo largo de su recorrido. Estas temperaturas se han obtenido, para los regeneradores, considerando solamente el conjunto de ladrillos en forma de pilas como el intercambiador de calor; en la práctica todos los ladrillos de las paredes de las cámaras y de los conductos efectúan regeneración de calor. El resultado será, pues, un mayor descenso en la temperatura de los gases y una temperatura de entrada del aire a las cámaras mayor que la temperatura ambiente.

Las temperaturas aproximadas tanto de los gases como del aire se indican en el diagrama (a) (pag.96)

Asimismo para facilitar los cálculos del cambio de volumen con la temperatura preparamos el gráfico de la relación $\frac{T \pm 460}{520}$ que ayuda a calcular el área y la velocidad del aire correspondiente a dicho área.



El volumen de gases que salen, considerados a 60°F., es (pag. 87): 34.8 pies³/seg.

Sección 1

Temperatura de gases: 2700°F.

En el diagrama (fig. 32) $r = 6.1$

Velocidad permitida: 33 pies/seg.

Area necesaria:

$$\frac{34.8 \times 6.1}{33} \quad 6.4 \text{ pies}^2$$

La forma que tendrá esta sección está indicada en el Esquema 4. Esta sección corresponde a la pared posterior del horno.

El volumen del aire (a 60°F.) es 0.62 del volumen de los gases. (pag. 82) O sea: $34,8 \times 0.62 = 21.6 \text{ pies}^3/\text{seg.}$

La temperatura del aire en esta sección es alrededor de 2200°F. La velocidad del aire es ($r = 5.1$)

$$\frac{21.6 \times 5.1}{6.4} = 17 \text{ pies/seg.}$$

De la misma manera se sigue calculando las demás secciones.

Los conductos a la salida de los regeneradores se construyen con un área mayor del calculado para preveer así el depósito de material que viene en suspensión en los gases que salen del horno.

Estas áreas reales no se consideran para los cálculos de velocidades ni de las pérdidas de tiro porque la limpieza de estos conductos se efectúa en forma periódica e imperfecta.

Los resultados obtenidos están tabulados a continuación:

	1-1	2-2	3-3	4-4	5-5	6-6
Velocidad-gases	33	10	24	10	10	10
Area necesaria	6.4	9.85	10.5	15.5	12	11.2
Area real:	6.4	9.85	10.5	18.6	14.7	11.25

Las secciones así obtenidas están indicadas en el Esquema 4 y los áreas y las velocidades resultantes en los diagramas de la pag.96

Válvula de cambio

La válvula de cambio que se usa en los hornos quemados a petróleo es generalmente muy sencilla. La admisión del aire se alterna cada

medio período por medio de la mariposa que es un tabique por cuyo centro pasa un eje que permite hacerlo girar. Para facilitar este movimiento de la mariposa se instala un sencillo sistema de cables.

El cierre de la mariposa se procura mantenerlo con un contrapeso (C) pero aún así la infiltración del aire no es completamente restringida por lo que este aire, que pasa la válvula directamente hacia la chimenea, debe ser siempre tomados en cuenta.

Aparte de la mariposa la válvula es provista de una plancha de metal que actúa de registro para controlar el ingreso de aire a ella.

El material que se usa es acero y Fe fundido para la mariposa. Se dejan aberturas que sirven para la limpieza.

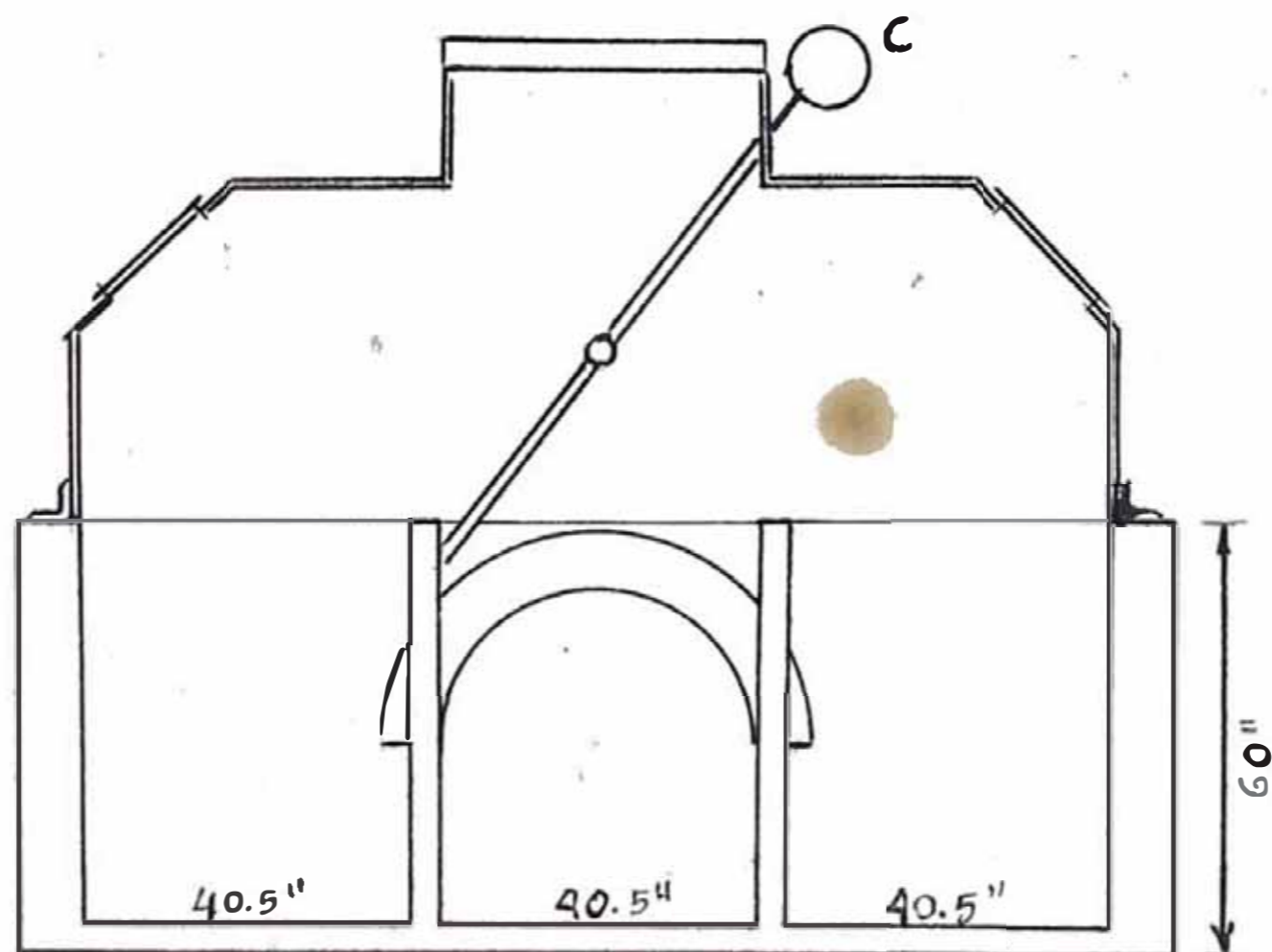


Fig. 34

Las dimensiones son, para una velocidad de 10 pies, 40.5 pulgadas de lado en la parte interior.

La temperatura media de los gases desciende aquí por efecto de la infiltración. Suponiendo una entrada de aire de 50%, la temperatura descenderá, aproximadamente de 1200°F. que es la de entrada, a la de:

$$\frac{100}{150} \times 1200 = 800^{\circ}\text{F}.$$

El descenso de temperatura compensa el aumento de volumen, permaneciendo este, practicamente el mismo.

Conducto de la válvula a la chimenea

La sección de este conducto será la misma que la de la entrada a la válvula (sección 6-6). La longitud del conducto será relativamente grande para facilitar así la construcción de la chimenea, y el movimiento en las partes cercanas al horno. Fijamos dicha longitud en 15 pies.

Compuerta.

La compuerta es simplemente un tabique de Fe fundido o de acero especial que es manejado por un cable para graduar la abertura de paso para los gases que van a la chimenea.

TIRO NECESARIO PARA EL FLUJO DEL AIRE

Las pérdidas de tiro o de presión provenientes del flujo del aire de la válvula al horno tienen mucha importancia porque, como ya se ha dicho, la energía para realizar este movimiento proviene exclusivamente del tiro natural o sea del efecto de chimenea que producen el mismo aire caliente.

La evaluación de la presión necesaria para realizar el movimiento de aire y comunicarle la velocidad necesaria, se hace por fórmulas conocidas. Los factores a considerarse son:

a)fricción. Las pérdidas de presión por fricción con las paredes del conducto se calculan por la fórmula

$$p = 119.1 \times f \frac{B}{A} \times \frac{v^2}{460} \times L$$

f = coeficiente de fricción

B = perímetro, pulgadas.

A = area de la sección, pulgadas cuadradas.

v = velocidad media, pies por segundo

T = temperatura, grados Farenheit.

f varía según el número de Reynolds y la rugosidad de la superficie. Esta depende del material de que está hecho y de la forma en que se ha construido el conducto. Así para ladrillos lisos y bien emparejados puede considerarse un factor de 0.008 (Trinks, pag. Ref .)

En el mismo libro de Trinks encontramos curvas para el factor f en función del número de Reynolds.

Para la rugosidad que se presenta en conductos bien construidos con ladrillos refractarios de primera calidad como es el presente caso, dicho coeficiente es un poco más bajo de 1×10^{-4} en casi todos los conductos; al mismo tiempo las longitudes son todas pequeñas por lo cual las pérdidas por fricción son las menos considerables.

b) velocidad. El aire toma su velocidad a costa de una cantidad de energía o presión dada por la relación:

$$0.118 \frac{v^2}{T \cdot 460}$$

c) codo, cambios de sección. Las pérdidas de presión por estos motivos se comparan con el equivalente de la energía cinética o de velocidad por medio de factores experimentales (Trinks, pag)

d) tiro- para una columna de aire a la temperatura T el tiro está dado por la expresión:

$$0.0147 \left(1 - \frac{T_a}{T} \right) H \text{ pulgadas H}_2\text{O}$$

Aplicando todas éstas fórmulas para las dimensiones de las páginas anteriores, se obtiene el siguiente resultado:

1.- Válvula		-	
pérdida en la válvula	0.0013		
codo de salida: 90°	0.0015	0.0028	
2.- Conducto válvula a regenerador fricción.	0.0001	0.0001	
3.- Conducto bajo el regenerador fricción	0.0003	0.0003	
4.- Regenerador Fricción(0.001/pié) entrada-conducto sup.	0.0150 0.0098	0.0248 0.0248	
5.- Conductos regenerador a horno fricción 1 codo 90° energía-velocidad entrada al horno	0.0039 0.0165 0.0160	0.0364	
6.- Tiro: altura total, regenerador y conductos: 29'			0.2836
7.- Presión del horno(máximo)	0.0300	<u>0.0300</u> 0.0944	0.2836

Existe pues un exceso apreciable de tiro sobre las pérdidas de presión.

$$\text{La diferencia } 0.2836 - 0.0944 = 0.1892 \text{ pulgadas } H_2O$$

se disipa en la entrada a la válvula por medio de compuerta o registro, regulándose así la cantidad de aire que entra a los regeneradores y al horno.

Esta diferencia positiva nos indica que la altura del regenerador y las secciones de los conductos son adecuados y no han de ser alterados los resultados obtenidos en los cálculos anteriores.

TIRO NECESARIO PARA EL FLUJO DE LOS GASES

Repitiendo los mismos cálculos que para el aire, se obtiene los siguientes resultados:

1.- Presión del horno(mínimo)	0.0100		0.0100
2.- Conducto horno a regenerador			
velocidad salida gases	0.0750		
fricción(0.004 pulg/pie)	0.0117		
1 codo 90°	0.0490	0.1357	
3.- Regenerador			
fricción(0.004 pulg/pie)	0.0580	0.0580	
4.- Conducto bajo el regenerador			
fricción	0.0021	0.0021	
5.- Tiro, regenerador y conductos, altura total:29'	0.3405	0.3405	
6.- Conducto válvula a regenerador.			
fricción	0.0008		
contracciones (2)	0.0007	0.0015	
7.- Válvula			
codo de entrada	0.0120		
pérdida en la válvula	0.0166	0.0286	
8.- Conducto válvula a chimenea			
codo salida de la válvula	0.0150		
fricción	0.0012	<u>0.0162</u>	
		0.5826	0.0100

La diferencia de presión es: $0.5826 - 0.0100 = 0.5726$ pulg.H₂O

Altura de la chimenea

La diferencia de presión necesaria para el flujo de los gases se acaba de hallar y es 0.5726 pulgadas de H₂O. Esta diferencia debe ser superada por el tiro de la chimenea.

La temperatura media de los gases en la chimenea se puede considerar 600°F. debido a que habrá un descenso respecto a aquella de la válvula, que hemos visto que es alrededor de 800°F.

La densidad media de los gases de combustión que salen del horno es la siguiente:

$$\frac{13.7 \times 44 + 13.4 \times 18 + 1.7 \times 28 + 71.2 \times 28}{100} = 28.9$$

O sea que es idéntica a la del aire.

Se puede, pues, aplicar la misma fórmula para el tiro:

$$0.0147 \left(1 - \frac{460 \pm 80}{460 \pm 600} \right) H = 0.5726$$

De donde:

$$H = 80 \text{ pies}$$

Esta es la altura teórica necesaria.

En la práctica hay que considerar las pérdidas por fricción en la chimenea misma, la velocidad de salida de los gases, etc., la posibilidad de obturaciones, etc.

Por todas estas razones, hacemos dicha altura mayor y esta altura será: 120 pies.

Sección de la chimenea

La sección circular es la preferida para las chimeneas debido a su mayor área con relación al perímetro lo cual resulta en menor pérdida de calor y por fricción.

● La velocidad de salida se puede fijar en 10 a 12 pies/seg. Siendo el volumen de 329 moles y asumiendo una infiltración en todo el sistema de un 50% de esta cantidad tendremos que salen por la chimenea unas 500 moles por hora a una temperatura de 700°F. ($r = 22$)

$$\frac{500 \times 380 \times 2.2}{3.600} = 116 \text{ pies cúbicos/seg.}$$

A la velocidad de 12 pies/seg. el área debe ser 9.6 pies cuadrados. Este área corresponde a un círculo de 3.5 pies de diámetro de salida.

El diámetro de la chimenea en la parte inferior se hace mayor para darle mayor estabilidad y para disminuir de sección a medida que los gases se enfrían (Fig. 35)

Construcción de la chimenea

Las chimeneas de acero están usándose más, llevando una pro-

tección de ladrillos refractarios hasta la altura en que los gases ya no están muy calientes o a todo lo largo si la temperatura de entrada de los gases es alta.

Estas chimeneas están ancladas en el cimiento de concreto con grandes pernos.

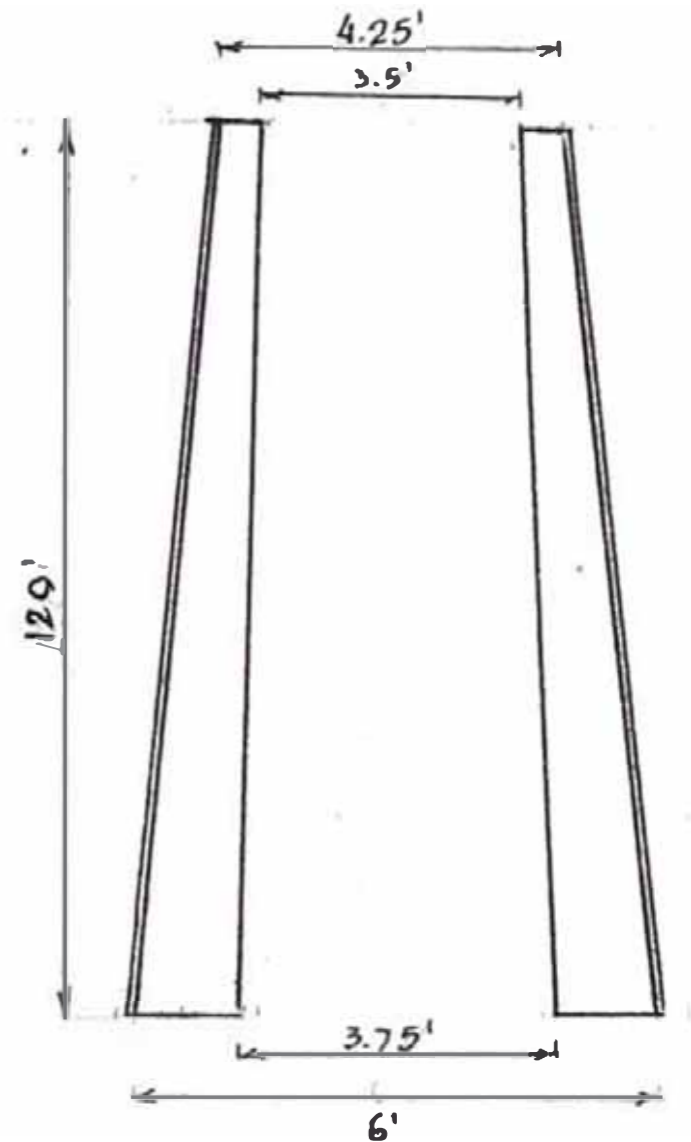
Material necesario (aprox.)

Ladrillos necesarios: (refractarios de 2ª)

$$3.14 \times \frac{(3.875 \pm 4.875)}{2} \times 0.75 \times 120 \times 130 = 160,700 \text{ lbs.}$$

Acero:

$$3.14 \times \frac{(4.25 \pm 6.0)}{2} \times \frac{0.75}{12} \times 120 \times 130 = 60,000 \text{ lbs.} \quad \text{Fig. 35}$$



C A P I T U L O IX

ALIMENTADORES

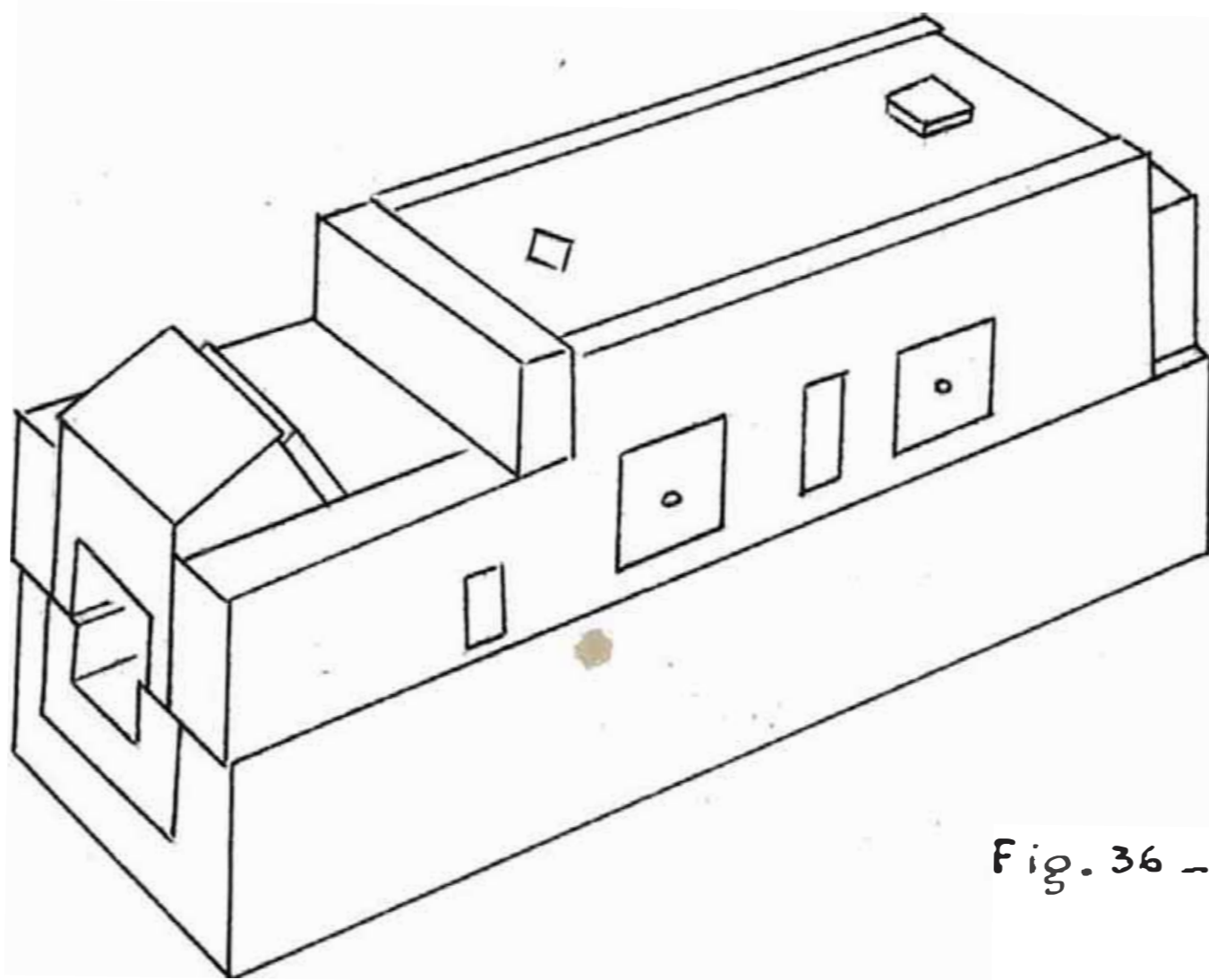


Fig. 36 - Forehearth Tipo ZU
16" ancho x 10'7 1/2"
Canal: 10 a 6"

El alimentador es una prolongación del horno por la cual fluye el vidrio hacia la máquina.

Los alimentadores se componen de dos partes, la primera que es un canal cubierto y en el cual se controla cuidadosamente la temperatura del vidrio, disponiéndose de quemadores para calentar el vidrio si es necesario y de aberturas de enfriamiento; la segunda que es realmente el mecanismo que entrega el vidrio en forma de gotas a la máquina, consiste de un abertura de unas pocas pulgadas (2 a 3) y por la cual el vidrio es empujado por una aguja refractaria.

Esta aguja está movida por un mecanismo especial sincronizado con la máquina de modo que la gota es entregada justo en el instante en que el molde de la máquina está preparado para recibirla.

Lo delicado de las partes y lo preciso del control necesario ha hecho en todas las fábricas de vidrio el tipo de alimentador usa-

do se reduzca al de dos o tres casa fabricante, variando únicamente las dimensiones según la producción.

En nuestro caso escogemos el alimentador Hartford, de la "Hartford-Empire Co". y las dimensiones más apropiadas para la producción de aproximadamente 8 Toneladas por alimentador son:

ancho de canal: 16". Largo: 10'7 1/2.

Serán necesarias dos alimentadores, uno para cada máquina.

La combustión se hace mediante petróleo y aire a alta presión proveniente de la compresora. El consumo de petróleo es pequeño.

El mecanismo que forma y entrega la gota así como también el mecanismo regulador son movidos por aire comprimido.

C A P I T U L O X

MAQUINAS PARA EL PRENSADO DEL VIDRIO

Descripción de la máquina

Las máquinas de prensado consisten de un molde, de una aguja y de un anillo. Este anillo asentado en la parte superior del molde, define el extremo superior del artículo fabricado y centra la aguja, La aguja dá al objeto de vidrio su forma y debe tener una pequeña pendiente de modo de facilitar su extracción.

Estas tres partes, molde, anillo y aguja, deben ser hechas del mismo material para que las dilataciones por el calor sean uniformes.

Las máquinas se componen de una mesa giratoria sobre la cual se montan los moldes, Estas máquinas son generalmente movidas por aire comprimido.

Selección de la máquina

Hay relativamente pequeña diferencia entre los tipos de máquina presentados por las grandes casas fabricantes. Se caracterizan específicamente por el elemento motriz es decir si son accionadas por un motor eléctrico o por medio de aire comprimido; y por su capacidad. El prensado se hace en todos los casos con aire comprimido.

Para la producción asumida en este proyecto, de 16 Toneladas se podría usar una máquina de gran producción, con la consiguiente economía de costo inicial y de la operación. Sin embargo, no es práctico hacer trabajar un horno con una sola máquina pues los paros por desperfectos y los cambios de producción afectan la calidad del vidrio producido, al alterar el régimen de fusión. Por esto es más conveniente, seleccionar para este caso, dos máquinas con una producción cada una de 8 Toneladas.

Una máquina para producción media, accionada por aire y que se presta para obtener artículos diversos, figura en los Catálogos de la casa Lynch Corporation con la denominación "P-B-M" y es la que escogemos para nuestro horno.

Características de la máquina

(Del catálogo de la Lynch Corporation)

"Prensa neumática de producción media. Modelo P-B-M

"Se fabrica con esta máquina toda clase de objetos prensados en block o en moldes soldados.

Producción: Depende de la clase de productos trabajados, del tipo de vidrio y de las condiciones de trabajo.

En general se puede obtener de 30 a 40 piezas por minuto trabajando con 12 moldes (artículos pequeños) y de 18 a 22 con 6 moldes. (por minuto)

Diámetro: 2" mínimo y 10" máximo para 12 moldes y 15" cuando se usa 6 moldes.

Altura: desde objetos planos hasta 8" alto.

Presión de aire: para la compresión: 40-45 lbs.

para la operación de la máquina: 25-30 lbs.

Aire libre por minuto, necesario: 160 p³

Refrigeración: 3000 a 4000 pies³ de aire a 3.5 onzas/pulg.²

La aguja se refrigera por agua a presión. Presión recomendada: 25 lbs.

Espacio: 5 pies x 6 pies.

Peso: 7000 lbs.

Personal necesario: 1 operador.

Entrega de los productos: se puede hacer mecánicamente o manual.

En este último caso el operador se hace cargo de ésta labor.

Esta máquina está diseñada para trabajar con alimentación automática.

La regulación de la velocidad se efectúa por el mecanismo alimentador.

Según el tipo de producción hay cuatro tamaños de cilindros de compresión. Cilindro recomendado para producción general de tipo mediano y variable: 10". "

APARATOS AUXILIARES PARA LA MAQUINA

Según las características descritas de la máquina misma se necesitará los siguientes elementos auxiliares:

1.- Compresora de aire

Presión: 45 lbs: Volumen: 160 p³ por minuto.

Agregando el aire necesaria para el alimentador y para la templadora, el volumen necesario es 200 p³. El tipo de compresor adecuado es el de embolo.

Interesa que este aire no llegue caliente a la máquina porque esto carboniza el lubricante y además hay que extraer el vapor de agua por lo que el compresor será enfriado con agua y tendrá además un post-refrigerador.

Será suficiente un compresor de una etapa.

Además, el compresor deberá contar con dispositivos para la toma de aire, con su correspondiente filtro, un tanque de aire y un conjunto de válvulas y manómetros.

Para la selección del compresor consideramos una eficiencia volumétrica de 0.75 o sea que el desplazamiento necesario es:

$$\frac{200}{0.75} \quad 270 \text{ piés}^3.$$

De los Catálogos, se selecciona la siguiente:

Compresora horizontal, 1 etapa.

Worthington Pump & Machinery Corp.

Diámetro cilindro: 11"

Carrera: 10"

Desplazamiento 312 p³

Presión de aire: 40-75 lbs/pulg.²

H.P.: 34-43

Entrada: 3 1/2 Salida: 3 1/2". R.P.M. 285

Transmisión por correa.

2.- Ventilador de aire.

Capacidad: 4000 pies³

Presión: 4 onzas = 7" H₂O

H.P.: $\frac{7 \times 4000}{6.356 \times 0.7} = 6.3 \text{ H.P.}$

Tipo: ventilador centrífugo.

3.- Bomba de agua:

Agua necesaria:

a) para las agujas de las máquinas:

La producción es: 1470 lbs. Suponiendo un descenso de 20° de toda la masa, debido al calor que pasa por las paredes de dichas agujas, y asumiendo que un aumento de 10° en la temperatura del agua.

Calor específico del agua: 1.0

$$1470 \times 20 \times 0.28 = w \times 10 \times 1$$

De donde

$$W = 800 \text{ lbs. por hora.}$$

b) para la camisa y el postrefrigerador del compresor:

La cantidad de calor que se produce debido a la compresión adiabática del aire es de 2544 Btu/hp-hr.

La potencia para la compresión: es 36 H.p. (aprox.)

El agua se permitirá un aumento de temperatura de 10, y la cantidad necesaria es:

$$2544 \times 36 = w \times 10 \times 1$$

De donde:

$$w = 8,720 \text{ lbs.}$$

c) En el post-refrigerador se condensa el agua de humedad, cuya proporción media hemos supuesto en 0.024 (pag.).

El calor latente de vaporización del agua es 1080 Btu/lb.

Como la cantidad de aire es 200 pies³ por minuto:

$$200 \times 0.024 = 4.8 \text{ pies}^3 \text{ H}_2\text{O}$$

Calor de vaporización:

$$\frac{48 \times 18 \times 1080}{380} = 239 \text{ Btu.}$$

Agua correspondiente:

$$239 \times 60 = w \times 10 \times 1$$

De donde:

$$w = 1430 \text{ Lbs.}$$

Total de agua necesaria:

$$800 \pm 8,720 \pm 1,430 = 10,950 \text{ lbs.}$$

Galones por minuto:

$$\frac{10,950}{60 \times 3.785 \times 2.2} = 22 \text{ gal.}$$

La presión del agua es de 25 lbs. para las agujas, para la compresora puede considerarse igual.

Bomba de agua:

Worthington, 4 GA.

Capacidad: 25 galones con 1750 r.p.m.

H.P. (para 50 lbs): 1.7

Suponiendo que la presión de salida del agua es aproximadamen-

te la misma de 25 lba., dicha presión servirá para elevar el agua a un tanque que servirá de reserva y para el enfriamiento.

La presión de columna de agua es:

$$25 \times 0.7037 = 17.6 \text{ metros.}$$

O sea que, descontando pérdidas en las tuberías puede usarse aún una presión equivalente a una altura, de agua, de 15 m.

4.- Tanque de agua:

El tanque de agua se hará elevado para que la corriente de aire ayude al enfriamiento.

Establecemos la altura en 10 metros.

Haciendo el volumen de $2 \times 2 \times 20 = 8 \text{ m}^3$ o sea 8 T.M. de agua, esto equivale al agua usado en 60 minutos, tiempo en el cual el agua puede enfriarse lo necesario. Si por cualquier motivo la temperatura se mantiene alta, se hace entrar agua fresca en el circuito.

C A P I T U L O X I

CAMARA DE TEMPLADO

Objeto del templado

Como ya se ha dicho, la misión del templado es llevar primero los objetos a una temperatura conveniente, uniforme a través de toda la masa y de mantenerla a esta temperatura un tiempo suficiente, para que todos los esfuerzos existentes sean eliminados. Después, se requiere llevar dichos artículos a la temperatura ambiente, a una velocidad que no permita el restablecimiento de tensiones permanentes en la masa. Durante este descenso de temperatura es esencial que no exista una gran diferencia de temperatura entre las diversas partes del artículo fabricado.

Construcción de los tuneles de templado

Como el tiempo de templado es relativamente largo, de 1 a 2 horas, la cámara de templado para el trabajo de tipo continuo ha tomado la forma de un tunel. En la parte en que entra el vidrio, se calienta el tunel lo necesario para que no haya descenso brusco de temperatura, siendo la temperatura usual en este punto de 120° a 125°F.

Los objetos de vidrio son transportados a través de este tunel por medio de una faja metálica, la cual se acciona por medio de un motor eléctrico y un reductor de velocidad regulable para poder ajustar dicha velocidad a las condiciones de trabajo deseadas.

La precisión que requiere esta parte del proceso de fabricación ha hecho que la construcción de las templadoras esté también en la jurisdicción de fabricantes especializados.

Templador escogido

Se escogerá un templador de la casa Hartford-Empire Co. de Tipo D, y para la producción de 1470 lbs. por hora o sea 400 ox. por minuto, será conveniente el ancho de 6 pies, El largo es de 60 pies.

El calentamiento se efectúa por la combustión del petróleo en una cámara especial y el calor es transmitido al túnel a través de paredes o sea por calentamiento de mufla.

La combustión con petróleo requiere aproximadamente: 15 galones a la carga máxima y 60 Galones (por 24 horas) para el templador vacío.

La temperatura es regulada desde 1200 aprox., a la entrada hasta los 500° más o menos y controlada por una serie de pares Termoeléctricos. Los gases de combustión son evacuados por medio de un ventilador.

Aparatos auxiliares

Se requiere como ya se ha dicho un ventilador para forzar los gases de combustión. El motor para el ventilador es de 7.5 H.P.

El motor para mover la faja, es de 3 H.P.

C A P I T U L O XII

ELEMENTOS AUXILIARES.

1.- Controles

El éxito del proceso de fabricación de vidrio depende en mucho del control de las diversas fases. Son primordiales el control químico y térmico.

Para efectuar el Control químico se necesitará un Laboratorio. Los requerimientos en materiales y reactivos químicos son moderados.

El control térmico, se efectúa por un sistema de pirómetros. El tipo más adecuado es el par termoelectrico; de Pt - Pt, Ir para las temperaturas altas y de Fe-Fe. Constante para las temperaturas más bajas. Estos pares termoelectricos van conectados a Potenciometros Indicadores o Registradores de puntos multiples por lo que serán suficientes dos de 6 puntos para toda la planta.

2.- Taller mecánico

Para efectuar las reparaciones necesarias y para fabricar los moldes para la Máquina de prensado es conveniente contar con un taller propio.

3.- Grupo electrógeno

En caso de haber interrupción en el servicio eléctrico es necesario contar con una fuente propia de electricidad. Esta será proporcionada por un Grupo electrógeno.

Los requerimientos de energía imprescindibles son:

Horno

Compresor centrífugo:	10	H.P.
Bomba de petróleo	0.5	
Templadora		
Ventilador	7.5	
Motor de la faja	3.0	
Refrigeración (para los meses finales de la campaña)	<u>10.0</u>	
TOTAL	31.0	H.P.

O sea: 31 x 0.736 = 23 Kwh.

Naturalmente, considerando la eliminación y posible sobrecargas habría que instalar un grupo electrógeno de mayor capacidad.

El grupo electrógeno comprende un motor a petróleo, un generador de corriente alterna y un tablero de control.

C A P I T U L O XIII

LOCACION DE LA PLANTA

Los principales factores que se deben tomar en cuenta para la selección del lugar en que se vá a instalar la fábrica son:

- 1.- Materia prima.
- 2.- Mercado
- 3.- Transporte
- 4.- Mano de obra.
- 5.- Fuente de energía.
- 6.- Requerimientos especiales de la planta.

Las materias primas nacionales provienen de zonas de la Sierra El Carbonato de Sodio importado es recibido por el puerto del Callao. Por otro lado el principal mercado y el posible transporte a otros mercados tiene que pasar también por la ciudad de Lima.

Siendo prácticamente iguales los pesos del vidrio y el Carbonato por un lado y de la arena y de la cal por el otro, la determinación del lugar puede decidirse por otros factores.

En general conviene la zona de la ciudad de Lima porque somete a los artículos de vidrio a distancias de transporte reducidas lo que disminuye roturas y averías en los productos.

Hay, sin embargo una razón más importante que tomar en cuenta. Ella es que la altura y la menor humedad atmosférica en la zona de la Sierra hacen variar totalmente las condiciones del diseño.

En efecto resultan incrementados los volúmenes de ventiladores, compresores, como también del horno, los regeneradores y de la chimenea.

Además la alteración en la transmisión de calor afecta el diseño de los regeneradores y del horno mismo.

Queda así determinada la zona de Lima como la más adecuada para la instalación de la planta.

C A P I T U L O X I V

MATERIALES PARA LA CONSTRUCCION

H o r n o

Refractarios de Sílice-Alúmina

	<u>Especificaciones</u>	<u>Número</u>	<u>Peso</u>
Tank, zona de fusión			
Piso	Blocks, 12 x 18 x 36	42	
Pared	12 x 21 x 36	12	35,280 lbs
	12 x 18 x 36	34	
	12 x 24 x 36	2	
"Casa de perro"			
Piso	12 x 18 x 36	2	1,680
Pared	12 x 24 x 36	4	2,640
Garganta			
Piso	12 x 30 x 36	1	1,050
Pared	Blocks especiales para garganta de 12" x 3'.	3	3,000
Tank, zona-trabajo			
Piso	12 x 18 x 36	13	14,070
	12 x 21 x 36	8	
	1/2 x 12 x 21 x 36 (A)	2	
	1/2 x 12 x 21 x 21 (B)	2	
	1/2 x 12 x 15 x 36 (C)	2	
	12 x 18 x 36	4	
	12 x 21 x 36	4	
Pared	12 x (18x15,3/4)x 36 (D)	13	5,460
	14 x 18x(34,3/4x29,3/4)(E)	2	7,780
	14 x 18x(34,3/4x29,3/4)(F)	2	5,000
			1,710
Puente	Tapas, 6 x 12 x 36	14	2,940
Blocks de quemadores	Especiales	2	2,60

Resúmen:	Necesario	Exceso o/o	Pedido
Blocks tamaño Standard (disponibles en Stock)	86,520 lb.	10	95,170 lb.
Blocks especiales (disponibles en Stock)	3,260	100	6,520
Blocks especiales (según pedido)	14,490	20	17,400

Refractarios de Sílice

	<u>Especificaciones</u>	<u>Número</u>	<u>Peso</u>
<u>Zona de fusión:</u>			
Pared	ladrillo 12 x 6 x 3	1,140	15,680 lb
Arco de los flues	cuña Arch N°.1	16	
	Arch N°.2	18	375
Arco, "Casa de perro"	cuña Wedge N°.2	17	
	Wedge N°.3		520
Arranque de arco	ladrillos especiales	80	2,970
Pared de protección	ladrillos 12 x 6 x 3	300	4,125
Ladrillos de relleno	12 x 6 x 3	111	1,530
Bóveda	cuña Wedge N°. 1	1,520	
	Wedge N°. 1-X	1,000	33,440
<u>Zona de trabajo</u>			
Pared	cuña Key N°.2	260	
	Key N°.1	250	6,570
Cúpula	cuña tipo A	491	
	tipo B	237	
	Tipo C	48	
	tipo D	17	9,730
Arranque de arco	cuña especial	101	1,730
Arcos de alimentadores	cuña Arch N°. 1	8	
	Arch N°. 2	22	190

<u>Resumen</u>	<u>Necesario</u>	<u>Exceso</u>	<u>pedido</u>
Ladrillos y cuñas	76,860 lb.	5 o/o	80,800 lb.
<u>Ladrillos comunes</u>			
Columnas del horno:	25,600 ladr.	2 o/o	27,000 ladr.

cero

<u>Zona de fusion</u>	<u>Especificaciones</u>	<u>Número</u>	<u>Peso</u>
Base del horno	viga 6" x 18' (17.25 lb/p)	18	7,100 lb.
	canal 6" x 22'	24	
	Varilla rectangular 1/2x1" 1.74 lb/pie - lon. total:	800'	1,400
Paredes laterales	Viga canal 12" x 11' (20.7 lb/pie)	28	6,380
Tirantes	Varilla redonda 1,1/4" x 19' 4 lbs/pie 1,1/4" x 22'	10	1,110
		4	
Soporte bóveda	Angulo 6x6x1" x 20 (37.4 lb/pie)	2	1,500
Soporte paredes	Angulo 8 x 3,1/2 x 7/16 x 20', (16.5 lb/pie) id. x 16'	2	920
		1	310
Paredes tank	Angulo 2,1/2 x 2,1/2 x 1/8 long. total: 256.(2.08 lb)	256'	530
<u>Zona de trabajo</u>			
Base	Viga 6" x 18' 12-13-14-15-16-17'	4	2,740
		6	
	Varilla rectangular: total	300'	520
Paredes laterales	Viga 12" x 11'	4	720
	viga canal 10" x 11' (15.2 lb/pie)	14	2,350
	id. 12" x 16'	2	490
Tirantes	varilla redonda 1" (2.56 lb/p) 1" x 10'	6	150
Soporte cúpula	Angulo 6 x 6 x 1" x 25.5'	1	770
Soporte pared	Angulo 8 x 3, 1/2x7/16x25.5'	1	420
Angulo inferior	id.	1	420
Paredes tanque	Angulo 2,1/2x2,1/2x1/8 total	164'	340
<u>Base del horno</u>			
	Viga I de 15" x 25' (42.9 lb/pie) id. x 6'	3	3,220
		4	1,030
Peso total:			32,420 lb.

REGENERADORES

Refractarios de 1^a. clase

	<u>Dimensiones</u>	<u>Tipo de ladrillo</u>	<u>Número</u>
Bóveda	Arcos de medio punto Luz: 6' Lon. 10' 1, 1/2"	Wedge N° 1 Rectos	2,350 600
	Arcos de medio punto Luz: 3' Long. 4x15" id. (ancho: 6-3/4")	Wedge N°. 1 Wedge N°. 2 Wedge N°. 1 Wedge N°. 2	120 142 60 76
Conducto bajo el regenerador	arcos de medio punto de 4.5" y separados 4.5" Long. 13' 1, 1/2"	Wedge N°. 1 Rectos	1,750 420
Relleno bóvedas	Area: 12x13.5 pies (menos aberturas: 45 p ²) espesor medio: 15"	Rectos	2,550
Paredes laterales	2x12x25 = 600 pies ² espesor: 13' 5"	Rectos	11,460
Pared divisoria	12 x 20 = 240 pies ² espesor: 18"	Rectos	6,150
Pared posterior	15.75 x 25 = 394 espesor: 13.5"	Rectos	7,540
Pared anterior	3.75 x 25 = 94 pies ² espesor: 13.5"	Rectos	1,800
	12 x 25 = 300 espesor: 9"	"	3,800
Piso	15.75 x 14.25 espesor : 7.5"	"	2,400
Pilas (checkers)		"	10,920

Resúmen	Necesarios	Exceso	Pedido
Ladrillos de la serie 9 1/2 x 4 1/2 x 2 1/2			
Rectos	47,600	362,000 lb.	5 o/o 380,000 lb.
Cuña wedge N° 1	4,220	28,300	" 29,700
"edge N° 2	142	750	" 790
Serie 9 1/2 x 6 3/4 x 2 1/2			
Cuña Wedge N°. 1	60	580	610
	76	<u>670</u>	<u>700</u>
		392,300	411,800 lb.

Ladrillos comunes

Paredes laterales: 600 + 394 + 94	1088	pies ²
Pared superior	<u>120</u>	
Total	1208	pies ²

Ladrillos (de 6x12x24):	necesario	exceso	pedido
	7,800	2 o/o	8,000 ladr.

(peso de los ladrillos: 50,700 lbs.)

CONDUCTOS (FLUES)

	Dimensiones	Tipo refractario	Número
a) Horno a regenerador arcos	luz: 3.5' Espesor: 6"	Key N° 1 Si	64 Si-A1
paredes	long. 8'	Key N° 2 Si	72
	área: 70 pies ²	12 x 6x3 Si	
	espesor: 6"		
piso	long. 5'	6x12x42 Si-A1	5
b) Regenerador-válvula arcos	Contracción 72-54"	Wedge N° 1 rectos	368 48
	long. 3'	Wedge N° 1	736
	tramo recto: 6'	Wedge N° 1	306
	Contracción: 54-40.5"	Wedge N° 2	72
Paredes laterales	Altura media: 2'	Rectos	610
	long. 12' Espesor: 9"		
Piso	Ancho medio: 6'	"	510
	long. 12' espesor: 5"		
c) Válvula Paredes	100 pies ² ; espesor 9"	"	1,050
	30 pies ² 4.5"	"	190
piso	48 pies ² 5"		300
d) Válvula-chimenea Arcos	Luz: 40.5" Long, 15"	Wedge N° 1	840
		Wedge N° 2	640
paredes	altura media: 2.1'	Rectos	800
piso	ancho: 5' espesor 5"	"	640

Resumen

	<u>Tipo</u>	<u>Número</u>	<u>Peso</u>	<u>Exceso</u>	<u>pedido</u>
Ladrillos de sílice	Rectos	280	3850 lb.	5 o/o	4040 lb
	Key N° 1	64	835	"	880
	Key N° 2	72	<u>907</u>	"	<u>950</u>
			5,592		5,870 lb.
Refractario Si-Al.	6x12 x 42	5	1.140	20 o/o	1,365 lb.
Ladrillos Si-Al, 2ª.	Rectos	4,148	31,610	5 "	33,190
	Wedge N° .1	2,250	14,500	"	14,940
	Wedge N° .2	712	<u>4,340</u>	"	<u>4,560</u>
			50,450		52,690

ACERO

	<u>Especificaciones</u>	<u>Número</u>	<u>Peso</u>
Engatillado del regenerador	Vigas I 8" x 27' 18.4 lbs. pie	16	3600 lbs.
	Angulo 6x3, 1/2 x 5/16 x 14' (9.8 lb/pie)	4	540
	Varilla redonda 3/4 x 18' (1.5 lb/pie)	8	<u>216</u>
			4,356
Válvula Paredes	105 pies ² . Plancha de 1/2		2,200 lb.
Mariposa	17.5 pies ² . Espesor: 1"		730
Compuerta	18	1"	750
Engatillado conducto horno-regenerador			
Cables, contrapesos para la compuerta y válvula			<u>400</u>
			3,680 lb.
TOTAL :	aprox. 8,000 lbs.		

CHIMENEA

Ladrillos, refractarios de 2ª		160.700 lbs.
Acero		60.000 "

C A P I T U L O XV

ESTUDIO ECONOMICO DEL PROYECTO

La mayoría de los materiales y máquinas empleados para la Fabricación de vidrio son procedentes del extranjero. La importación está actualmente sujeta a reglamentaciones y recargos, que de aplicarse en la estimación de costos darían seguramente valores demasiado altos. Por esto asumiremos condiciones normales, es decir que no existe ninguna restricción en la importación y el valor del Dollar americano, el del Mercado Mundial o sea 15 soles por dollar.

Los precios consignados en las páginas siguientes, se han procurado obtener de las Casas representantes en esta capital y otros son extraídos de Catálogos y Manuales. Al valor del precio así obtenido se le considera un recargo de 30% por concepto de flete, seguro y aduana excepto para los ladrillos y blocks refractarios en los cuales por razón de su mayor volumen dicho recargo es del 60%.

Los precios de instalación o construcción se han considerado en los valores más bajos dentro del margen dado por los Catálogos y Manuales, debido a ese recargo y también porque gran parte del material empleado en la instalación y la mano de obra son nacionales.

En la estimación del capital necesario se han de considerar los siguientes factores:

I.- Capital fijo:

- A.- Terreno y Edificios
- B.- Máquinarias y equipos.

II.- Capital de trabajo:

- C.- Costo de operación: Materia prima
dirección y administración
mano de obra
energía eléctrica
combustible
luz, agua, etc.
Mantenimiento

D.- Cargas fijas: Impuestos y Seguros
Seguro Social.
Depreciación.

A.- Terreno y edificios

Dimensión	C/unit.	Total	
a) Terreno: 50 x 80 m = 4000 m ²	S/. 40.00 S/.	160,000	S/. 160.000
b) Edificio del Horno (45 x 12 m)			
excavación: 20 x 20 x 6 = 240 m ³	10.00	2,400	
cimientos: 45 x 2 + 12 x 2 = 114 m	50.00	5,700	
Paredes, sótano (20 + 12) x 2 x 6 = 384 m ²	75.00	28,800	
Paredes edificio (45x2+12x2)8 = 912 m ²	50.00	45,600	
Pisos (45x12 + 20x12) = 780 m ²	50.00	39,000	
Techo 45 x 12 = 540 m ²	40.00	21,600	
Puertas, ventanas, escaleras		<u>10,000</u>	153,100
c) Sala de mezcla (6 x 15)			
piso 6 x 15 = 90 m ²	75.00	6,750	
paredes (6 x 2 + 15x1)5 = 135 m ²	40.00	5,400	
techo 90 m ²	40.00	<u>3,600</u>	15,750
d) Sala de máquinas (3 x 11)			
piso 3 x 11 = 33 m ²	75.00	2,480	
paredes (3 x 2 + 11)5 = 85 "	40.00	3,400	
techo 3 x 11 = 33 "	40.00	<u>1,320</u>	7,200
e) Taller, almacén, Of. Ing. y Laboratorio (6 x 42)			
piso 6 x 42 = 252 m ²	75.00	18,900	
paredes (42 x 2 + 6 x 2)5 = 570 "	40.00	22,800	
techo 6 x 42 = 252 "	40.00	10,800	
puertas, ventanas		<u>5,000</u>	57,500
f) Edificio de administración (20 x 5)			
piso 5 x 20 = 100 m ²	75.00	7,500	
paredes (2 x 20 + 2 x 5)5 = 250 "	40.00	10,000	
techo 100 "	100.00	10,000	
puertas, ventanas		<u>3,000</u>	30,500
g) Muros: 150 m 150 x 4 = 600 m.l.	35.00	21,000	21,000
h) Servicios higiénicos, agua desague, iluminación, muebles		<u>80,000</u>	<u>80,000</u>
			S/. 527,050
Contratista: 10%			<u>53,000</u>
			S/. 580,050

B.- Maquinariás y equipos

Nº. de orden	Cantidad		Costo	Total
		<u>DEPARTAMENTO DE MEZCLA</u>		
1	1	Mezcladora horizontal Capacidad: 9 pies ³	S/. 13,500	
2	1	Motor para la mezcladora H.P.: 1.5	1,950	
3	1	Balanza Capacidad: 1000 Kg.	5,850	
4	1	Elevador de baldes Capacidad 7.1 Tons/hora Distancia entre centros: 50' Dimensión de baldes: 6 x 4"	33,125	
5	1	Motor para el elevador H.P. 1.5	1,950	
6	1	Tolva para mezcla Capacidad: 20 Tons. Dimensiones: una parte rectangular de 6 x 12' y la parte inferior una pirámide invertida de 5,3' de altura. Material: plancha de Fe de 1/4".	60,000 <u>66,375</u>	
		Instalación: 20%	<u>13,275</u>	S/. 79,650
		<u>HORNO</u>		
7	95,160 lbs	Blocks standard (U.S.\$150/Ton)	152,200	
8	6,520 "	Blocks especiales(U.S.\$165/l.)	11,475	
9	17,400 "	Blocks especiales(U.S.\$187,5/T.)	34,800	
10	80,800 "	Ladrillos de sílice 35 millares	38,300	
11	26,000 ladr.	Ladrillos comunes (100 millar)	2,600	
12	34,420 lbs	vigas, ángulos (\$ 2 por Kg.)	28,200 <u>267,575</u>	
		Instalación 30%	<u>80,275</u>	<u>347,850</u>
		Vé		S/. 427,500

Nº. de orden	Cantidad	Especificaciones	Costo	Total
		Viene:		S/. 427,500
		<u>REGENERADORES</u>		
13	411,800 lbs.	Ladrillos refr. de la. (U.S.\$ 100 el millar)	S/. 130,000	
14	8,000	Ladrillos comunes	800	
15	4,400 lbs.	ángulos y vigas	3,960	
			<u>134,760</u>	
		Instalación 25%	<u>33,690</u>	168,450
		<u>CONDUCTOS</u>		
16	5,870 lbs.	Ladrillos de Sílice	2,550	
17	1,365 "	Blocks refractarios	2,180	
18	52,690 "	Ladrillos de 2ª (80 el millar)	13,170	
19	3,600 "	Vigas, ángulos	3,240	
			<u>21,140</u>	
		Instalación 20%	<u>4,260</u>	25,400
		<u>CHIMENEA</u>		
20	60,000 lbs.	Plancha de acero 3/4	54,000	
21	160,700 "	Ladrillos 2ª	40,200	
			<u>94,200</u>	
		Instalación 20%	<u>18,800</u>	113,000
		<u>SISTEMA DE COMBUSTION</u>		
22	2	Tanque para petróleo o. Capacidad: 18,000 Galones	105,000	
23	2	Quemador para petróleo (incluyendo llaves y válvulas)	3,900	
24	2	Bombas para petróleo bomba rotatoria Worthington capacidad: 1.6 G.p.m. a 850 r.p.m. (incluyendo válvula relief)	3,100	
25	2	Motor para la bomba de petróleo H.P. 0.5	3,000	
26	2	Compresor centrífugo para aire. Capacidad: 800 pies ³ , presión 2 lbs. (incluyendo motor de 10 H.P.)	35,100	
			<u>150,100</u>	
		Instalación: 25%	<u>37,500</u>	187,600
		Vá:		S/. 921,950

Nº. de orden	Cantidad	Especificaciones	Costo	total
		Viene:		S/. 921,950
		<u>ALIMENTADORES</u>		
27	2	Alimentador Hartford Empire Incluyendo, Forehearth Tipo Z-U de 10'; dispositivo de for- mación y entrega de la gota y dispositivo regulador de ve- locidad (timer) (U.S.\$: 8,000) Instalación: 10%	312,000 <u>31,200</u>	343,200
		<u>MAQUINAS -PRENSAS</u>		
28	2	Máquinas-prensas, modelo "P-B-M" (Lynch Corporation) U.S.\$ 10,000 Instalación: 10%	390,000 39,000	
29		Juego de moldes	<u>40,000</u>	469,000
		<u>APARATOS AUXILIARES PARA LA MAQUINA</u>		
30	1	Compresora de émbolo. Worthington Pump Machinery Corp. Diámetro: 11". Carrera: 10 Desplazamiento: 312 pies ³ Presión: 50 lbs. r.p.m.: 285 Transmisión por correa	39,000	
31	1	Motor para el compresor H.P.: 40	12,500	
32	1	Ventilador de aire Capacidad: 4,000 pies ³ /minuto Presión: 4 onzas/pulg. ²	7,800	
33	1	Motor para el ventilador; H.P. 7.5	3,900	
34	1	Bomba de agua Bomba rotatoria, Worthington Modelo G-A-4. Capacidad: 25 G.p.m.	1,950	
35	1	Motor para la bomba de agua; H.P.: 2	1,950	
36	1	Tanque de agua Capacidad: 8 m ³ Altura (sobre el nivel del suelo: 10 metros)	<u>15,000</u> 82,100	
		Instalación y accesorios: 30%	<u>24,650</u>	
		Vá:		<u>106,750</u>
				S/. 1'840,900

Nº. de orden	Especificaciones	Costo	Total
	Viene:		\$1'840,900
	<u>TEMPLADORA</u>		
37	Tunel de templado, ;Hartford-Empire Tipo D de 6 piés de ancho por 60' de largo. Incluyendo quemadores, faja de transporte, motor para la faja, ventilador de aire y motor para el ventilador. (U.S.\$ = 15,000) Instalación: 15%	292,500 <u>44,000</u>	336,500
	<u>INSTRUMENTOS DE CONTROL</u>		
38	(Pirómetros, medidores, etc.)		80,000
39	Taller de mecánica		100,000
40	Laboratorio		20,000
41	Grupo electrógeno 37.5 Kwh. con motor de petróleo y generador de corriente alterna 60 ciclos. Incluyendo tablero. (U.S.\$ 6,000) Instalación: 10%	117,000 <u>11,700</u>	128,700
			<u>\$2'506,100</u>

TOTAL

Capital fijo: Terreno y edificios S/. 580,050
: Equipos y maquinarias S/. 2'506,100
S/. 3'086,150



II.- CAPITAL DE TRABAJO

El capital de trabajo, es la reserva de capital que se necesitará para hacer frente a los gastos de la fábrica por un período que se considera el máximo necesario para poner la fábrica en producción normal.

En nuestro caso, asumiremos dicho período en un año.

C.- Costo de operación

Materia prima

Como hemos dicho al hablar del horno, las paredes de éste sufren una fuerte corrosión, sobre todo en ciertas partes, por lo que al cabo de un período, que puede ser de 18 a 30 meses, es necesario descargar totalmente el horno y enfriarlo para proceder a su reparación.

Suponiendo que se necesita un período de un mes y medio para dicha reparación en el peor caso o se perderá un mes cada año. Además por reparaciones o accidentes se puede suponer que se perderá otro mes.

Por otro lado, la fábrica mantendrá la producción los días domingos y feriados, lo que dá por resultado un número de 300 días de trabajo al año.

El consumo de materia prima por día esta dado en la pag.

Por consiguiente el costo anual de la materia prima será:

	<u>Consumo diario</u>	<u>Costo Tonelada</u>	<u>Costo diario</u>
Arena	10.21 Tons.	100	S/1,021
Carbonato de calcio	3,0	80	240
Carbonato de sodio	3,73	600	2,238
Sulfato de Bario	0,11	1,000	110
			S/.3,609

Y en 300 días:

S/.1'082,700

Sueldos

	<u>mensual</u>	<u>Anual</u>	
1 Gerente	3,000	36,000	
1 Ingeniero Químico	2,000	24,000	
1 Químico laboratorista	800	9,600	
3 Empleados	500	<u>18,000</u>	<u>87,600</u>

Van:

S/.1'170,300

Vienen:

S/. 1'170,300

Jornales

Se considerará 430 días para tomar en cuenta los días domingo y feriados en los cuales la fábrica también mantiene la producción.

Nº.	Colocación	Jornal	Anual	
3	Jefe de Turno	S/. 18	S/. 23,220	
6	Operadores	15	38,700	
3	Horneros	10	12,900	
9	Peones de guardia	9	34,830	
1	Catapaz	15	6,450	
10	Peones	8	34,400	
1	Mecánico	18	7,740	
2	Ayudantes	12	10,320	S/. 168,560

Energía eléctrica

Prácticamente todos los motores trabajan durante las 24 horas del día y los 365 días del año.

La potencia de dichos motores es:

Mezcladora	1.5	H.P.
elevador	1.5	
Bomba de petróleo	0.5	
Compresor centrífugo	10.	
Compresor de aire	40.0	
Bomba de agua	2.0	
Ventilador-máquina	7.5	
Ventilador-templadora	10.0	
Faja templadora	3.	
	73.5	H.P.

O sea: $73,5 \times 0.736 = 54.1$ Kwh.

El costo por Kwh. es \$0.11, el costo anual es:

$54.1 \times 24 \times 365 \times 0.11 =$ S/. 52,200

Van:

S/. 1'391,060

Vienen: S/.1'391,060

Combustible

Promedio consumo diario: 5.5 Toneladas de petróleo

Precio de la Tonelada de petróleo: S// 70.00

Costo anual: $5.5 \times 365 \times 70 =$ 140,500

Servicios (higiénicos, agua)

S/. 300 mensuales o sea: 3,600

Mantenimiento

3% de edificios y equipos 90,300

TOTAL: S/.1'625,460

D- Cargas fijas:

Impuestos y seguros: 3% de Capital fijo; S/. 92,580

Seguros social: 1.5% de jornales 2,570

Depreciación: 10% de Capital fijo: 300,860 396,010

Capital de trabajo:

Costo de operación: S/.1'625,460

Cargas fijas: 396,010

S/.2'021,470

Capital necesario

El capital necesario es la suma del capital fijo y del capital de trabajo.

Capital fijo: S/. 3'086,150

Capital de trabajo: 2'021,470

Capital total: S/. 5'107,620

Se puede suponer que parte de este capital puede ser conseguido en forma de préstamo bancario sobre la base del capital fijo.

O sea que en realidad se requerirá aproximadamente 3'500,000 soles de capital.

Precio de costo y probable precio de venta

Producción anual:

La producción diaria es de 16 toneladas con un rendimiento supuesto de 88% (pag.18) El peso neto de productos es:

$$16,000 \times 0.88 \times 300 = 4'220,000 \text{ Kgs.}$$

El costo de operación es equivalente al capital de trabajo calculado anteriormente o sea 2'021,470.

Costo de producción:

Costo de operación:	2'021,470
Intereses y utilidades (15% capital)	<u>766,000</u>
	2'787,500

Suponiendo que toda la producción será vendida a un distribuidor:

Costo por Kg. de vidrio:

$$\frac{2'787,500}{4'220,000} - \underline{\text{S/. } 0.66}$$

Con los gastos de distribución y de venta se puede considerar que el precio de venta para el público será cerca de 0.90 por Kg.

OBRAS CONSULTADAS

- 1.- Morey, G.W.: "The Properties of Glass", Reinhold Publishing Corp. New York, 1938
- 2.- Hodkin, F.W. and A. Cousen: "A textbook of Glass Technology" Constable & Co. Ltd. London, 1929.
- 3.- Devillers, R.W. and F.E. Verewyck: "Glass Tank Furnaces". Traducción en inglés por S.R. Scholes. Ogden-Watney Publishers, N.Y. 1945
- 4.- Scholes, S.R. "Handbook of the Glass Industry" Ogden Watney.
- 5.- Trinks, W.: "Industrial Furnaces" John Wiley & Sons, Inc. 1942
- 6.- Griswold, J. "Fuels, combustion and Furnaces", McGraw-Hill Book Company, Inc. 1946.
- 7.- Norton, F.H. "Refractories" McGraw-Hill, 1942
- 8.- Schack, A. "Industrial Heat Transfer", Wiley & Sons, 1943
- 9.- Seely, F.B. "Resistance of Materials", Wiley & Sons, 1943.
- 10.- Perry, J.H. "Chemical Engineering Handbook", McGraw-Hill, 1941
- 11.- Clarke, L. "Manual for Process Engineering Calculations", McGraw-Hill, 1947
- 12.- Hougen, O.A. and K.M. Watson, "Industrial Chemical Calculations" Wiley & Sons, 1945

Revistas

The Glass Industry - Ogden Watney Publishers.

- 13.- Peyches I "The fight against wastage of heat in Glass Furnaces" Abril y Mayo, 1947
- 14.- Lester W.R. "Batch Mixing and Feeding", Dic. 1944.
- 15.- Schwalke, F.G. "Improvements in Tank Furnace Design" Dic., 1944
- 16.- Airandale, R.S. "Furnace Operation and Control". Enero, Febr., Mar. y Abril, 1945.
- 17.- Schrag, E.A. "Streamlined Plant Layout distinguished New Kura Unit", Enero, 1945
Chemical Engineering. Mc Graw-Hill Company
- 18.- Karassik, I.J. "Process Engineers Guide to the Centrifugal Compressor", Noviembre, 1947 y Enero, 1948.
- 19.- Bliss H., "Process Equipment Costs"; Mayo y Junio, 1947

Journal of the Society of Glass Technology

- 20.- Travers, M.W. "The Heat Balance of a Plant consisting of an air. Steam Blown gas Producer and a Glass Tank Furnace", 1921

Publicaciones diversas.

- 21.- "Fireclay Refractories", Publicado por Laclede Christy, Co. St. Louis, Missouri. U.S.A.

22.- "Estadística Industrial".Boletín de la Dirección de Industrias,
Sección de Estadística Industrial, 1946

23.-"Anuario de la Industria Minera en el Perú" Boletín Oficial de
la Dirección de Minas y petróleo. 1946.
