

300617

6
2^{da}



UNIVERSIDAD LA SALLE

ESCUELA DE INGENIERIA

INCORPORADA A LA U.N.A.M.

**PROYECTO DE UN HORNO PARA EL CALENTAMIENTO
DE LINGOTES DE ACERO DE ALTA ALEACION**

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA RECIBIR EL TITULO

DE INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

PRESENTA

EL C. JOSE CARLOS CARRASCO RENDON

MEXICO, D. F.

1989

FALLA DE ORDEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

I N D I C E

	<u>PAG.</u>
1.- INTRODUCCION - - - - -	1
2.- GENERALIDADES DEL PRODUCTO A PROCESAR.- - - -	5
2.1 Material de Proceso - - - - -	5
2.2 Temperaturas de Forja para el Acero - - -	8
2.3 Ciclos de Calentamiento - - - - -	11
2.4 Dimensiones de los Lingotes - - - - -	12
3.- RECUBRIMIENTO AISLANTE Y REFRACTARIO - - - -	14
3.1 Selección del Refractario - - - - -	15
3.1.1 Paredes Laterales - - - - -	17
3.1.2 Techo - - - - -	21
3.1.3 Piso - - - - -	23
3.1.4 Puertas - - - - -	24
3.2 Carcaza - - - - -	29
3.3 Aspecto del Ensamble General del Horno - -	30
4.- BALANCE TERMICO - - - - -	31
4.1 Absorción de Calor en Piezas de gran tama No. Dimensiones Interiores del Horno - - -	31
4.2 Pérdidas de Calor - - - - -	36
4.2.1 Pérdidas de Calor a Través de las - Paredes del Horno. - - - - -	36
4.2.2 Pérdidas de calor a través de las - Puertas del Horno. - - - - -	38

	<u>PAG.</u>
4.2.3 Pérdidas de Calor a través del Techo.	40
4.2.4 Calor Suministrado a las Cargas - --	41
4.2.5 Calor Almacenado en el Revestimiento.	42
4.3 Potencia Térmica Instalada - - - - -	46
5.- SISTEMA DE COMBUSTION - - - - -	51
5.1 Selección de Quemadores - - - - -	51
5.2 Selección de Ventiladores - - - - -	56
5.3 Cálculo de la Pérdida de Presión en Tuberías.	59
5.4 Selección de Válvulas de Regulación - - - - -	66
5.4.1 Válvulas de Mariposa - - - - -	67
5.4.2 Orificio de Medición - - - - -	69
5.4.3 Válvulas de Orificio Limitante - - - - -	72
5.4.4 Válvulas Macho Supervisoras (FM) - - - - -	74
5.4.5 Regulador de Relación Aire/Gas - - - - -	76
5.4.6 Válvula de Seguridad Principal de Gas.	78
5.4.7 Regulador de Presión - - - - -	81
6.- DESALOJO DE LOS GASES DE COMBUSTION - - - - -	83
6.1 Tiro y Presión de Hornos - - - - -	83
6.1.2 Puertos para Humos en los Hornos - - - - -	88
6.2 Cálculo de Ductos para Desalojo - - - - -	93

	<u>PAG.</u>
7.- SISTEMA DE REGULACION DE TEMPERATURA - - - - -	95
7.1 Descripción del Sistema - - - - -	97
7.1.1 Sistema de Combustión - - - - -	98
7.1.2 Sistema de Seguridad - - - - -	99
7.2 Sistema de Regulación de Temperatura - - --	99
7.3 Operación del Sistema de Seguridad - - - -	100
7.3.1 Sistema de Encendido en Condiciones de Seguridad - - - - -	101
8.- COSTO DEL PROYECTO - - - - -	104
8.1 Carcaza Metálica - - - - -	105
8.2 Aislantes y Refractarios - - - - -	105
8.3 Sistema de Combustión - - - - -	106
8.4 Sistema de Regulación de Temperatura - - - -	107
8.5 Ingeniería y Mano de Obra - - - - -	107
8.5.1 Mano de Obra - - - - -	107
8.5.2 Costo por Ingeniería - - - - -	
9.- CONCLUSIONES - - - - -	111
10.- BIBLIOGRAFIA - - - - -	114

INTRODUCCION

México requiere el desarrollo de la industria productora de bienes de capital que servirán para la fabricación de una amplia variedad de artículos que satisfagan las necesidades del creciente mercado nacional y que además sean competitivos en calidad y precio en los mercados extranjeros.

Los Hornos Industriales son bienes de capital - en los que se aprovecha la energía térmica liberada por el proceso de combustión o por otras fuentes como la electricidad, rayos laser, etc. Esta energía térmica es necesaria para la obtención y procesamiento de los metales y sus aleaciones, producción de productos cerámicos, de cemento portland y muchos más que satisfacen una enorme variedad de necesidades de esta época.

En el país se han establecido algunas fábricas - de Hornos Industriales varias de ellas son subsidiarias o licenciadas por empresas extranjeras que suministran la tecnología y los planos constructivos de los hornos sin el desarrollo de la tecnología especializada en nuestro país. Su aporte se reduce al establecimiento de fuentes de trabajo para el personal ciertamente calificado pero que no alienta ni desarrolla - a conciencia a los Ingenieros mexicanos en la obtención de - - equipos para procesos térmicos.

Desde luego, en forma por demás dispersa, se encuentra disponible mucha información técnica necesaria para el desarrollo de esta tecnología. Sin embargo, una buena parte de esta tecnología es empírica y las empresas que la han desarrollado han incurrido en fuertes inversiones en sus planes de investigación y desarrollo. Una forma de independencia tecnológica es que los ingenieros mexicanos mantengan viva y activa su inquietud para su capacitación profesional continua para que su aporte al país contribuya a la independencia económica de las empresas extranjeras.

En la actualidad, se dispone en el mercado nacional de un alto porcentaje de los equipos y materiales necesarios para la fabricación de Hornos de uso Industrial. Conviene mencionar algunos que son comunes a muchos Hornos: Acero estructural y en chapas, aislamientos térmicos, refractarios, equipos para la combustión, motores y equipos de control eléctrico, equipos de accionamiento neumático o hidráulico, equipos transportadores y para transmisión de fuerza motriz, fundidoras de partes de acero refractario e inoxidable, ventiladores, etc. Quizá unos de los importantes componentes que aún no se fabrican en el país son los que se emplean en la medición y regulación de la temperatura en los hornos.

Los Hornos Industriales son bienes de capital cuyo costo es inherentemente alto, pues en su construcción intervienen materiales y equipos que por sus características o - -

propiedades, su manufactura es costosa. Si a ésto se añade el costo de mano de obra especializada y el importante costo de la tecnología, el resultado es un equipo de alto precio de fabricación. Este factor es el que se debería de tomar muy en cuenta para que la industria mexicana tienda a adquirir en nuestro -- país los Hornos Industriales, que evitarán la fuga de divisas y que como beneficio importante al país, permitirán el desarrollo de tecnología propia, tomando como base la tecnología existente, disponible y la experiencia propia de los fabricantes.

Para el desarrollo de este proyecto se tomó como base las necesidades de producción que incluyen los requerimientos térmicos del producto en sí, su manejo en caliente y frío - para cargarlo y descargarlo del horno, los volúmenes de producción deseados, el espacio disponible para el montaje de equipo, la forma y dimensión de las partes a tratar térmicamente, el combustible disponible, la operación segura del sistema de combustión y los trabajos de mantenimiento preventivo y correctivo que se requieran conforme transcurre la vida del horno.

El proyecto consiste básicamente en la selección de materiales y equipo para la construcción de un horno tipo - caja con puertas de guillotina con una capacidad térmica tal - que sea capaz de elevar un lote de acero hasta la temperatura de forja que sea necesaria para tratarlo térmicamente.

El alcance del proyecto comprende el estudio y -

propiedades, su manufactura es costosa. Si a ésto se añade el costo de mano de obra especializada y el importante costo de la tecnología, el resultado es un equipo de alto precio de fabricación. Este factor es el que se debería de tomar muy en cuenta para que la industria mexicana tienda a adquirir en nuestro país los Hornos Industriales, que evitarán la fuga de divisas y que como beneficio importante al país, permitirán el desarrollo de tecnología propia, tomando como base la tecnología existente, disponible y la experiencia propia de los fabricantes.

Para el desarrollo de este proyecto se tomó como base las necesidades de producción que incluyen los requerimientos térmicos del producto en sí, su manejo en caliente y frío para cargarlo y descargarlo del horno, los volúmenes de producción deseados, el espacio disponible para el montaje de equipo, la forma y dimensión de las partes a tratar térmicamente, el combustible disponible, la operación segura del sistema de combustión y los trabajos de mantenimiento preventivo y correctivo que se requieran conforme transcurre la vida del horno.

El proyecto consiste básicamente en la selección de materiales y equipo para la construcción de un horno tipo - caja con puertas de guillotina con una capacidad térmica tal - que sea capaz de elevar un lote de acero hasta la temperatura de forja que sea necesaria para tratarlo térmicamente.

El alcance del proyecto comprende el estudio y -

2.- GENERALIDADES DEL PRODUCTO A PROCESAR.

Para comenzar el proyecto deben ser considerados ciertos datos de diseño, como lo son la forjabilidad del acero, las dimensiones de los lingotes que serán sometidos al efecto del calor, las temperaturas de operación, los sistemas de carga y descarga, la producción horaria, etc., antes de proceder a ningún cálculo.

2.1. MATERIAL DE PROCESO

La forjabilidad varía considerablemente entre los aceros aleados y los aceros al carbono, dependiendo del contenido de aleación y de carbono, temperatura de forja, y resistencia mecánica para forjar a cierta temperatura.

Los aceros de bajo carbono son más fáciles de forjar que los aceros aleados o de alto carbono, particularmente, por su baja resistencia mecánica a temperaturas elevadas.

A medida que aumenten los contenidos de carbono y de aleación, la resistencia del metal a cualquier temperatura aumenta también, junto con los requisitos del proceso de forja.

Los mejores resultados en la forja dependen en su -

6.

mayor parte del control de la temperatura al calentar la carga. El horno deberá estar equipado con pirómetros controladores que puedan mantener la temperatura en un rango de $\pm 10^{\circ}\text{C}$.

De tal manera que el horno debe ser capaz de elevar el acero hasta la temperatura de forja y mantenerla durante el programa de calentamiento que sea establecido, ver sección 2.3.

El tipo de carga que será calentada, consta de aceros grado herramienta en distintos tipos que son:

- A) Aceros de alta velocidad.
- B) Aceros para trabajo en caliente.
- C) Aceros para trabajo en frío alto cromo, alto carbono.
- D) Aceros para trabajo en frío, temple en aceite.
- E) Aceros resistentes al choque.
- F) Aceros grado herramienta, temple al agua.

Y, cuya composición química se muestra en la siguiente tabla (2-1) según el Instituto Americano del Hierro y el Acero; AISI.

DESIGNACION				COMPOSICIONES							
AISI	SAE	UNS	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	W	V	CO
Aceros al molibdeno de alta velocidad											
M2	M2	T11302	0.78-0.88;0.95-1.05	0.15-0.40	0.20-0.45	3.75-4.50	0.30 max	4.50-5.50	5.50-6.75	1.75-2.20	...
M7	...	T11307	0.97-1.05	0.15-0.40	0.20-0.55	3.50-4.00	0.30 max	8.20-9.20	1.40-2.10	1.75-2.25	...
M33	...	T11333	0.85-0.92	0.15-0.40	0.15-0.50	3.50-4.00	0.30 max	9.00-10.00	1.30-2.10	1.00-1.35	7.75-8.75
Aceros al tungsteno de alta velocidad											
T1	T1	T12001	0.65-0.80	0.10-0.40	0.20-0.40	3.75-4.00	0.30 max	...	17.25-18.75	0.90-1.30	...
Aceros al cromo para trabajo en caliente											
H10	...	T20810	0.35-0.45	0.25-0.70	0.80-1.20	3.00-3.75	0.30 max	2.00-3.00	...	0.25-0.75	...
H10	H11	T20811	0.33-0.43	0.20-0.50	0.80-1.20	4.75-5.50	0.30 max	1.10-1.60	...	0.30-0.60	...
H12	H12	T20812	0.30-0.40	0.20-0.50	0.80-1.20	4.75-5.50	0.30 max	1.25-1.75	1.00-1.70	0.50 max	...
H13	H13	T20813	0.32-0.45	0.20-0.50	0.80-1.20	4.75-5.50	0.30 max	1.20-1.75	...	0.80-1.20	...
Aceros alto cromo y carbón para trabajo en frío											
D2	D2	T30402	1.40-1.60	0.60 max	0.60 max	11.00-13.00	0.30 max	0.70-1.20	...	1.10 max	1.00 max
D3	D3	T30403	2.00-2.35	0.60 max	0.60 max	11.00-13.50	0.30 max	...	1.00 max	1.00 max	...
Aceros para trabajo en frío, temple en aceite											
O1	O1	T31501	0.85-1.00	1.00-1.40	0.50 max	0.40-0.60	0.30 max	...	0.40-0.60	0.30 max	...
Aceros resistentes al choque											
S1	S1	T41901	0.40-0.55	0.10-0.40	0.15-1.20	1.00-1.80	0.30 max	0.50 max	1.50-3.00	0.15-0.30	...
Aceros grado herramienta para temple en agua											
W1	W108, W109, W110, W112	T82301	0.70-1.50(e)	0.10-0.40	0.10-0.40	0.15 max	0.20 max	0.10 max	0.15 max	0.10 max	...
W2	W209, W210	T72302	0.85-1.50(e)	0.10-0.40	0.10-0.40	0.15 max	0.20 max	0.10 max	0.15 max	0.15-0.35	...

Tabla 2-1. Límites de composición de los principales tipos de acero grado herramienta.

La conductividad térmica de algunos de los aceros seleccionados, a distintas temperaturas, se observa en la tabla 2-2.

2.2. TEMPERATURAS DE FORJA PARA EL ACERO.

La temperatura de forja decrece a medida que se incrementa el contenido de carbono. La temperatura - máxima para asegurar la forja en diversos tipos de aceros grado herramienta, aparece en la tabla 2-3.

El efecto del contenido del carbono en la temperatura de forja es el mismo tanto en los aceros aleados - como en los aceros grado herramienta. Para cualquier acero el tiempo de calentamiento debe ser lo suficientemente prolongado, de tal forma que todo el material alcance la temperatura de forja hasta su mismo centro y no sólo en la superficie.

Tabla 2-2 Conductividad térmica de algunos aceros grado herramienta seleccionados.

Temperatura		Conductividad Térmica.	
°C	°F	W/m-K	Btu/Pie-H °F
TIPO W1			
100	200	48.3	27.9
260	500	41.5	24.0
400	750	38.1	22.0
540	1000	34.6	20.0
675	1250	29.4	17.0
815	1500	24.2	14.0
TIPO H11			
100	200	42.2	24.4
260	500	36.3	21.0
400	750	33.4	19.3
540	1000	31.5	18.2
675	1250	30.1	17.4
815	1500	28.6	16.5
TIPO H13			
215	420	28.6	16.5
380	660	28.4	16.4
475	890	28.4	16.4
605	1120	28.7	16.6
TIPO T1			
100	100	19.9	11.5
260	500	21.6	12.5
400	750	23.2	13.4
540	1000	24.7	14.3
TIPO M2			
100	200	21.3	12.3
200	500	23.5	13.6
400	750	25.6	14.8
540	1000	27.0	15.6
675	1250	28.9	16.7

Tabla 2-3 Temperatura de forja para aceros grado herramienta.

T E M P E R A T U R A ° C

Aceros	Pre calentamiento Lento a:	Comenzar forja a (a)	No forjar abajo de:
	Aceros grado herramienta temple en agua.		
M1 a M5	788	982-1093 (b)	816
	Aceros grado herramienta trabajo en frío temple en aceite.		
O1	816	982-1065	843
O2	816	982-1038	
	Aceros grado herramienta alto cromo alto carbono trabajo en frío.		
D1 a D6	899	982-1093	899
	Aceros al cromo grado herramienta trabajo en caliente.		
M11,12,13	899	1065-1177	899
	Aceros grado herramienta alta velocidad al molibdeno.		
M2	816	1065-1177	927
	Aceros grado herramienta alta velocidad al tungsteno.		
T1	871	1065-1024	954
a)	La temperatura a la que debe comenzar la forja, está dada como un rango.		
b)	La temperatura de forja de los aceros grado herramienta de temple al agua varía con el contenido de carbono.		

Un tiempo excesivo de calentamiento, provocará la decarburización, escoria y crecimiento de grano. Para aceros al alto carbono (0.50 % y más), y aceros de alta aleación, con frecuencia se requiere un ciclo previo de precalentamiento para prevenir la fractura.

2.3. CICLOS DE CALENTAMIENTO.

La carga del horno se realizará por lotes de tal manera, que se puedan lograr los ciclos de calentamiento adecuados para que cada lingote adquiera la temperatura adecuada a la forja.

Estos ciclos están conformados de tal manera que se eleve la temperatura y se mantenga durante un tiempo determinado hasta lograr la uniformización de la temperatura en el lingote, en algunos casos se volverá a incrementar la temperatura nuevamente y durante un lapso determinado para así completar el ciclo. Tal y como se muestra en las gráficas 2-4 y 2-5, hasta llegar a la temperatura de 1280° C.

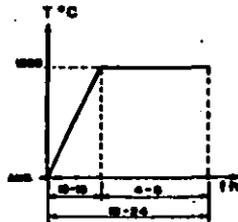


FIG. 2-4

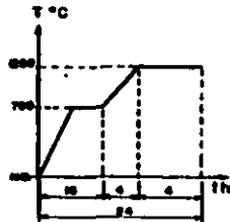


FIG. 2-5

2.4 DIMENSIONES DE LOS LINGOTES.

Es importante tomar en consideración las dimensiones de los lingotes que serán calentados, ya que es uno de los factores que influyen directamente en el espacio útil que se deberá tener dentro del horno, ya que a partir de esto podremos saber que dimensiones tendrá el horno en su totalidad.

Dentro del horno se ha pensado introducir seis lingotes, como el que se muestra en la fig. 2-6 con un peso de -- 3,200 kg. cada uno, con lo que se tendrá una carga -- máxima de 19,200 kg.

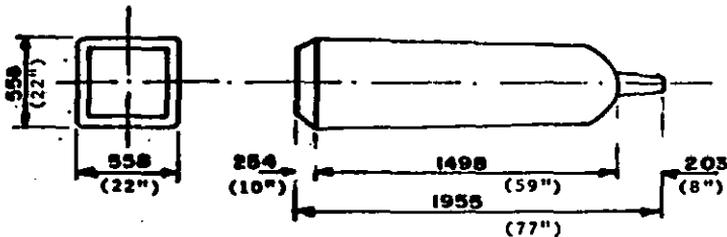


Fig. 2-6 Dimensiones de uno de los lingotes a recalentar.

Con los anteriores ciclos o programas de calentamiento y la carga máxima, se determinará la potencia térmica para calentar los 19,200 kg. de acero de alta -- aleación a una temperatura de 1,280°C en un tiempo -- cercano a las 15 a 20 horas.

Los lingotes se cargarán de frente (de punta) en el horno, por medio de un manipulador o cargador frontal adaptado a esa operación, la descarga se hará de la misma forma.

3.- RECUBRIMIENTO AISLANTE Y REFRACTARIO.

Los materiales refractarios y aislantes, no solo deben resistir altas temperaturas, sino los efectos destructores de los gases de combustión. Cuando seleccionamos un arreglo de refractario tienen que ser considerados -- tres aspectos importantes que son:

- A) Pérdidas de calor a través de la pared.
- B) Almacenamiento de calor en la pared.
- C) Temperatura en la superficie exterior - de la pared.

Tradicionalmente se pensaba que en una pared gruesa hacia disminuir el flujo de calor. Sin embargo las paredes gruesas almacenan una cantidad grande de calor y al mismo tiempo hace que las operaciones de calentamiento y enfriamiento requieran tiempos mayores. Actualmente los hornos utilizan nuevos productos que permiten arreglos considerablemente más delgados. Estos almacenan menos calor y minimizan la expansión.

Como a continuación se calcula, utilizaremos tres capas de revestimiento entre aislantes y refractarios - ya que, en la práctica, se han logrado resultados satisfactorios tanto en la transmisión de calor como el mantenimiento del material refractario, de acuerdo con la experiencia de los fabricantes de hornos.

(ver referencias en la bibliografía).

3.1. SELECCION DEL REFRACTARIO.

Para determinar la calidad, el tipo y espesor de -
aislante y refractario es conveniente seguir varios
pasos que son repetitivos para cada capa del reves-
timiento. En dicha secuencia de pasos será necesá-
rio utilizar la gráfica 3-1 y la tabla 3-1A.

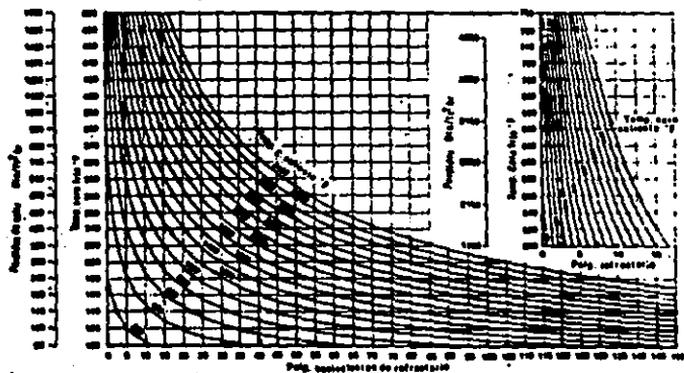


Fig.- 3-1 Pérdidas de calor y temperatura de cara fría para varios espesores de paredes verticales de ladrillo refractario sin viento y temperatura ambiente de 70°F.

De tal forma que al explicar la selección de la primera capa refractaria, queden comprendidos los pasos para las capas siguientes.

Un método para determinar la temperatura en la cara fría y las temperaturas de interfase se aplica a continuación, utilizando la gráfica 3-1, la cual tiene paredes de ladrillo refractario con aire circundante a una temperatura de -21°C (70°F) y velocidad cero. La tabla 3-1A enlista las pulgadas equivalentes de espesor en ladrillo refractario para otros refractarios y placas de materiales aislantes.

Pulg. Equivalentes de ladrillo refractario aprox.	Temperatura promedio del refractario $^{\circ}\text{C}$ ($^{\circ}\text{F}$)		
	Abajo 538 (1000)	Entre 538-1093 (1000-2000)	Arriba 1093 (2000)
<u>Ladrillo refractario</u>			
Ladrillo refractario duro	1.00	1.00	1.00
<u>Concreto alta densidad</u>			
MG-30, Concreto Mizzou	1.50	1.70	1.85
<u>Ladrillo aislante</u>			
T-20 1093° C. Max.	4.45	4.30	-
T-23 1260° C. Max.	4.20	4.10	3.85
T-26 1427° C. Max.	3.70	3.70	3.60
<u>Aislamientos</u>			
Aislamiento colado # 20	3.87	4.42	-
Aislamiento colado # 22	4.15	4.80	-
Block aislante 1038° C. Max.	12.5	-	-
Block lana mineral	14.5	-	-
J-M superex 2000	9.2	-	-

Tabla 3-1A Pulgadas equivalentes de refractario.

Vamos a comenzar el cálculo con una temperatura en la cara caliente del refractario de 1316°C (2400°F), la cual es mayor a la temperatura máxima de operación mencionada en el capítulo 2, que fué de 1280°C (2336°F) de tal forma que se proteja de forma alguna un exceso de temperatura, - moderado, sin control.

3.1 PAREDES LATERALES

Para efectos de cálculo, utilizaremos un arreglo de revestimiento, como el que se ilustra en la figura 3-2, con un espesor total de 254 mm. (10 pulg.) como primer - intento.

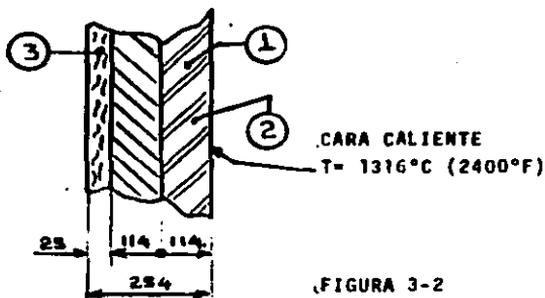


FIGURA 3-2

De acuerdo con la figura 3-2, el material que está expuesto a mayor temperatura, es el marcado con el número 1, esta temperatura de 1316° (2400°F); de la tabla - - 3-3 seleccionamos un ladrillo aislante "T-26" de A.P. Green.

El ladrillo que utilizaremos se conoce como estándar, lo que indica, que sus dimensiones son 4.5 x 2.5 x 9 pulg. (114 x 64 x 229) en primer lugar y en segundo que no son de fabricación especial.

La temperatura en la cara caliente del refractario será: 1316°C (2400°F), que es una temperatura menor a la máxima recomendada por el fabricante:

1425°C (2579F) Fig. 3-2-A

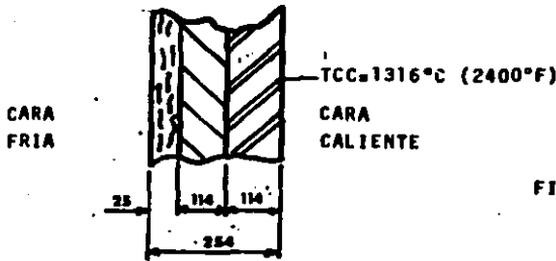


FIGURA 3-2-A

Utilizando la tabla 3-1-A, encontramos las pulgadas equivalentes de ladrillo refractario en el rango de temperatura estimado:

Para más de 2000°F tenemos 3.6 pulgadas equivalentes de refractario.

Multiplicando las pulgadas reales por las equivalentes de refractario se tiene $3.6 \times 4.5 = 16.2$ pulg.

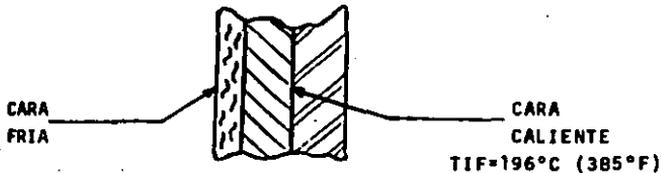
Entrando en la figura 3-1 en el total de pulgadas de refractario, en la parte baja de la gráfica subimos en línea vertical hasta intersectar la temperatura de la cara caliente. Nos movemos hacia la izquierda y leemos la temperatura de la cara fría.

$T_{cf} = 196^{\circ}\text{C}$ (385°F)

Siguiendo el mismo procedimiento para la segunda capa del revestimiento, utilizando como temperatura de la cara caliente, 385°F .

Con un ladrillo aislante "T-16", tenemos una temperatura recomendada (tabla 3-3) mayor a la temperatura de interfase 1 calculada.

$$\left[\begin{array}{l} \text{TEMP.} \\ \text{INTERFASE} \\ 1 \end{array} \right] = 196^{\circ}\text{C} \text{ (385}^{\circ}\text{F)}, \quad \left[\begin{array}{l} \text{TEMP.} \\ \text{RECOMENDADA} \\ \text{T-16} \end{array} \right] = 870^{\circ}\text{C} \text{ (1543}^{\circ}\text{F)}$$



Determinando las pulgadas equivalentes del ladrillo: $4.5 \times 4.45 = 20.02$ pulg. equiv.

LADRILLOS AISLANTES

Productos	Grupo Según N.O.M.	Temperatura Máxima recomen- dada ° C	Densidad gr/c.c.	Compresión en plano Kg/cm2.
T-16	85	870	0.52	14.28
T-20	110	1095	0.64	21.25
T-23	125	1260	0.77	28.42
T-26	140	1425	0.83	42.63
T-28	150	1535	0.93	56.70

Tabla

3-3 propiedades de ladrillos aislantes, A.P. Green.

Ahora entrando en la gráfica 3-1 se determina la temperatura de interfase dos.

$T_{12} = 120^{\circ}\text{F} (38^{\circ}\text{C})$

La tercera y última capa será de una pulgada de colcha de lana mineral, un aislante que comercialmente se le conoce con el nombre de "Supertemp". De la tabla 3-1 A, buscamos las pulgadas equivalentes que son, para menos de $539^{\circ}\text{C} (1000^{\circ}\text{F})$, 14.5 pulg.

14.5 x 1 = 14.5 pulg. equivalentes.

La segunda temperatura interfase es ahora $48^{\circ}\text{C} (120^{\circ}\text{F})$ de la tabla 3-4 se observa que para un espesor de una pulgada, el block de lana mineral soporta de $37^{\circ} - 93^{\circ}\text{C} (100-200^{\circ}\text{F})$, suficiente para la segunda temperatura de interfase.

Tabla 3-4 ESPEORES RECOMENDADOS A DIVERSAS TEMPERATURAS DE BLOCK DE LANA MINERAL.

Temperatura	Espeor
100 - 200°F	1 pulg.
201 - 300°F	1½ pulg.

Así que, de la figura 3-1, se determina que la temperatura de la cara fría será aproximadamente de:

$$T_{cf} = 100^{\circ}\text{F} (37^{\circ}\text{C})$$

Que es una buena temperatura en el interior y sensiblemente en el exterior de la coraza, sobre todo para - protección del equipo y del personal que trabaje a su alrededor, como lo es también para una nave industrial, que de estar muy - caliente, el rendimiento físico y mental del personal se vería disminuido.

Para una superficie superior, como el techo, la temperatura exterior será menor para una superficie inferior, la temperatura exterior será mayor que en las paredes verticales, esto se debe al efecto de la convección natural del aire - ambiente.

3.2.1. TECHO

Para tener un buen arreglo, es necesario - tomar en consideración un aspecto muy importante, que es la - distancia entre una pared con respecto a su opuesta, ya que el

horno tiene claros muy grandes, el hacer un arreglo tipo bóveda nos lleva a una altura muy grande en el arco, por lo tanto, la forma de construcción del techo debe ser del tipo monolítico - suspendido.

Como se muestra en la figura 3-5, el techo será de concreto de refractario de alta densidad de la calidad "Mizzou" y cuyas características se muestran en la tabla 3-6. Con unas anclas de calidad superior, las cuales están a su vez soportada por ganchos colgados de viguetas. En la parte superior se colocará aislante granulado "Airlite" de A. P. Green.

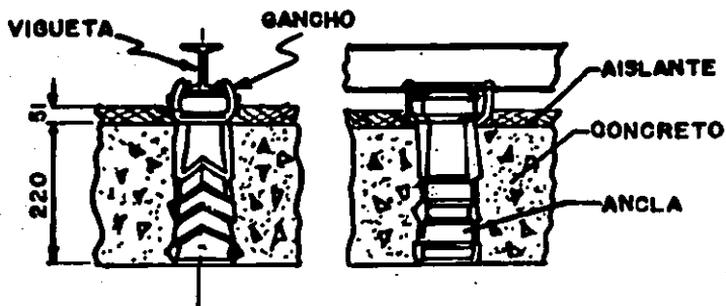


FIG. 3-5 Arreglo para el techo del horno. Tipo suspendido, - - sujeción por viguetas.

Tabla 3-6 CONCRETOS REFRACTARIOS DENSOS

Productos	Temperatura Máxima Recomendada °C	% de alúmina Promedio	Módulo de ruptura kg/cm ² .	Compresión en plano kg/cm ² .	Densidad kg/cm ³ .
KS-4 M	1400	42	35-56	105-160	1800
Concreto Mizzou	1650	62	35-49	140-210	2200
Greencast 94 M	1885	95	77-120	281-422	2585

3.1.3 PISO

Debido al tipo de operación de carga y descarga del horno, el trabajo mecánico al cual va a estar sometido el piso, será necesario colocar un concreto colado que reúna los siguientes requisitos:

- 1) Resistencia a la temperatura, 2) Desgaste mínimo.
- 3) Resistencia a la compresión.

En esta ocasión, el concreto denso "Mizzou", también resulta ser el adecuado al reunir todas estas características. La utilización de un concreto colado, en lugar de ladrillos se debe, en gran parte, a que el costo por mano de obra es más barato y que se evita el problema de un posible desprendimiento de tabiques a causa del uso. Al utilizar un arreglo monn -

lítico, se evitan, básicamente, problemas de mantenimiento.

Ya que el horno es de tipo caja, la carga apoya como ya se dijo, directamente sobre el piso y éste tiene que ser capaz de soportar el peso. Si abajo del refractario colocamos un material aislante, éste, por sus características, tenderá a romperse o desmoronarse, así que vamos a utilizar un ladrillo duro de alta calidad, como lo es el "Crown M", de A.P. Green. El arreglo básico se muestra a continuación en la figura 3-7.

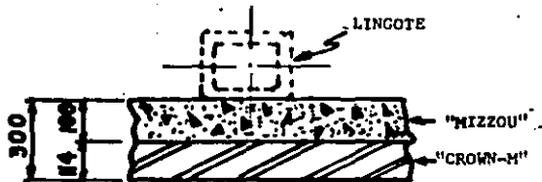


FIG. 3-7 Arreglo básico del piso.

3.1.4 PUERTAS.

Las puertas del horno serán de tipo guillotina, es decir, su abatimiento se hará en forma siempre vertical, o sea, de arriba hacia abajo. El accionamiento

será, por medio de cilindros neumáticos que actúan conjuntamente a un contrapeso para mantener la puerta arriba. Fig. 3-8



FIG. 3-8 Abatimiento de puertas.

Al recibir el cilindro la presión del aire comprimido, éste rompe el equilibrio entre la puerta y el -- contrapeso permitiendo así el acceso a la cámara de combustión.

Como se puede ver, el funcionamiento de las puertas, hace que éstas sean relativamente ligeras para que la operación de abrir y cerrar se efectúe con la menor dificultad. Pero esto acarrea ciertos problemas que se deben solucionar. Si la puerta se reviste con ladrillo o concreto refractario, ésta se vuelve muy pesada, así que una solución, es el aislarla con fibra cerámica, que es muy resistente a -

la temperatura y mucho más ligera que cualquier ladrillo ó concreto refractario. Se utilizará una fibra cerámica que tiene una densidad de 96.12 kg/m³. (6 lb/pie³).

La utilización de la fibra cerámica acarrea el problema de la deformación en la placa que forma la -- puerta ya que los gases calientes ocasionan el abombamiento del metal. Una buena solución es utilizar placa de acero inoxidable en lugar de acero al carbono. El acero inoxidable resiste la temperatura, pero tiene la gran desventaja de su elevado costo.

Los fabricantes de hornos tienen una solución muy adecuada a este tipo de problemas; y en esta ocasión, recomiendan que la puerta esté enfriada por agua. Al enfriar la puerta con un sistema de agua en circulación, hace que esté la mayor parte del tiempo a una temperatura no muy alta, ya que aún estando la puerta cerrada, el sello no será nunca suficiente y existirá fuga de calor, el cual se absorbe por el agua de refrigeración manteniendo la estabilidad dimensional de la puerta. El agua entra por la parte lateral de la puerta y fluye hacia abajo, para que al salir por la parte superior, no de lugar a la formación

de burbujas, que en un momento dado puedan provocar una explosión al aumentar el volumen y la presión - del vapor que se forme. (figura 3-9).

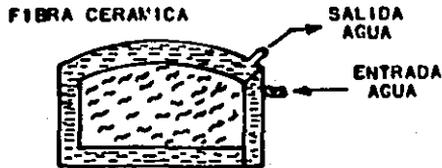


FIG. 3-9 Sistema de refrigeración de las puertas.

Al hacer referencia de las puertas, la razón es que como la carga consiste en seis lingotes, no es muy lógico, para un horno tipo caja, el construir una sola puerta con dimensiones de 6 metros de largo -- por 2.5 de alto. De tal forma, que se considera -- más adecuado el hacer tres puertas, cada una con los sistemas de abatimiento y enfriamiento descrito con anterioridad, las dimensiones de las puertas serán -

según se ven en la figura 3-10

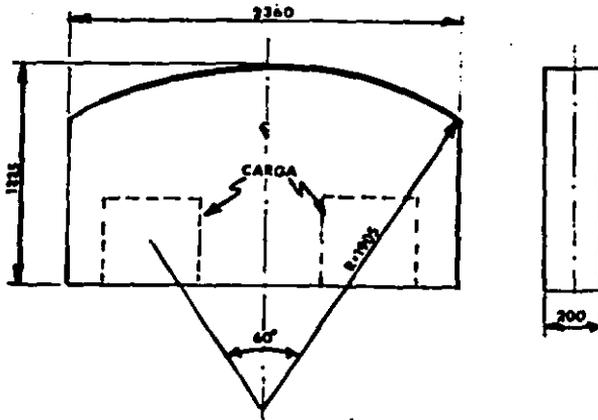


FIG. 3-10 Dimensiones de una de las tres puertas.

En la parte frontal del horno, justo abajo de las -
puertas, estarán colocadas protecciones fabricadas -
en placa de acero inoxidable, de tal manera, que si
por descuido del operador del manipulador choca con
tra el horno, éste no sufra daños graves. (Ver fi-
gura 3-11).

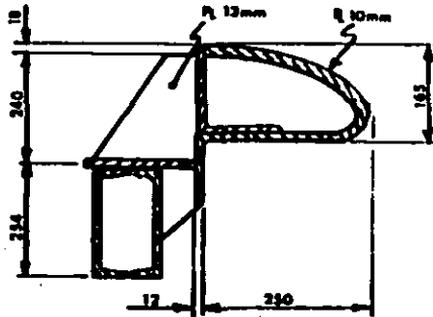


FIG. 3-11 Detalle de protección para las puertas.

3.2 CARCAZA

Es de vital importancia, el que la carcaza tenga una construcción adecuada capaz de resistir todo el peso del refractario, más la carga en la base del horno. Con la experiencia, se ha observado que una placa de acero que está soportando una carga, por ejemplo, una pared, su capacidad no varía en ningún momento a menos que la placa esté expuesta al calor, en éste caso del horno. El punto de cedencia del material va a variar con respecto a la temperatura y el tiempo, es decir, que a mayor temperatura y mayor tiempo de exposición en presencia de calor, la placa tiende a deformarse - o lo que comúnmente se conoce como abombamiento. Por ésta razón, la coraza deberá ir perfectamente reforzada para evitar que el horno se deforme. Una deforma-

ción considerable en la coraza trae como consecuencia la inminente caída del material refractario, el cual se encuentra anclado a la coraza en sí. La prestigiada marca Norteamericana Sunbeam Equipment Corporation*, recomienda en sus estándares de ingeniería, que el área máxima libre de refuerzo en la coraza, debe ser de un metro (3 pies x 3 pies) aproximadamente, según lo permita el tamaño del horno.

3.3 ASPECTO DEL ENSAMBLE GENERAL DEL HORNO

Una vez que se han discutido todos los puntos anteriores en la construcción del horno, solo resta decir que la placa usualmente empleada por los constructores de hornos debido a sus buenos resultados de vida útil, será de 4.8 mm' (3/16 pulg.) y el material es acero al carbono para formar la carcaza del horno.

En los planos de Ensamble General al final de este trabajo, se puede apreciar con más detalle el tipo de construcción que será objeto el horno.

*Ver referencias en la bibliografía.

4.- BALANCE TERMICO

4.1 ABSORCION DE CALOR EN PIEZAS DE GRAN TAMARO.
DIMENSIONES INTERIORES DEL HORNO.

La razón de transmisión de calor expresada en KC al m2 Hr. se expresa según la ecuación.

$$\frac{Q_r}{A} = 6.173 E \left(\frac{T_1}{100} - \frac{T_2}{100} \right)^4$$

En la cual: Q_r = Cantidad de calor transmitida.

A = Area expuesta a la radiación.

E = Emisibilidad efectiva de las superficies radiante y receptora.

T_1 = Temperatura absoluta de la superficie radiante.

T_2 = Temperatura absoluta de la superficie receptora.

La ecuación anterior permite establecer que para un caso dado en el que el factor E está fijo, así como el área de transmisión, la razón de transmisión dependerá de la diferencia de temperaturas absolutas a la cuarta potencia. Esto es un hecho de importancia - - cuando las partes deben calentarse hasta temperaturas elevadas.

Por otra parte, la razón de absorción de calor radiado hacia un cuerpo está dado por la expresión.

$$RAC = \frac{Q_r}{A} \text{ Exp.}$$

en donde Exp. significa la superficie efectiva expuesta a la radiación.

La razón de absorción de calor radiado define la - capacidad de un cuerpo determinado expuesto a la - radiación para elevar su temperatura, y, manteniendo otros factores fijos, dependerá de la exposición de la superficie a la radiación.

Los conceptos anteriores conducen a establecer, que para un caso práctico en el que la superficie radiante de un horno está fija (paredes, techo y piso), - así como la emisibilidad efectiva, pues está dada - por el material de la carga y del interior del horno, la velocidad o tiempo de calentamiento de una - carga dependerá solamente de la forma en que la carga presente su superficie a la radiación y como segundo factor a la diferencia de temperaturas entre la carga y el horno, que como se indicó es una función - exponencial y de ahí su importancia en el fenómeno - de calentamiento de una carga hasta temperaturas elevadas.

Las ecuaciones anteriores sirven para llevar a la - práctica la operación óptima de un horno, con objeto de que el calentamiento de la carga sea el más - corto posible. Cuando se opera a altas temperaturas es importante:

- 1) Mantener el horno a la máxima temperatura posible, que está dada por los materiales de construcción del horno.
- 2) El acomodo de la carga para que la superficie - efectiva expuesta sea la máxima posible.

La Fig. 4.1 muestra en forma gráfica la razón de -- transmisión de calor por radiación y por convección - en función de las temperaturas de la carga y de un - horno considerando otros factores fijos.

Es de observarse que por abajo de los 540°C, la - transmisión de calor por convección y por radiación guardan cierta similitud, pero a partir de esta temperatura el factor dominante en la transmisión de calor es la radiación.

La interpretación de esta gráfica para el proyecto de hornos es que en temperaturas mayores a 1000°F, - se debe buscar que el calentamiento de la carga ocurra principalmente por radiación, mientras que en - los procesos que ocurren a menor temperatura, el calentamiento básicamente debe ser por convección, fenómeno en el que se puede poner en juego las variables que incrementan la razón de transmisión de calor por convección como es el rápido movimiento del fluido - convector.

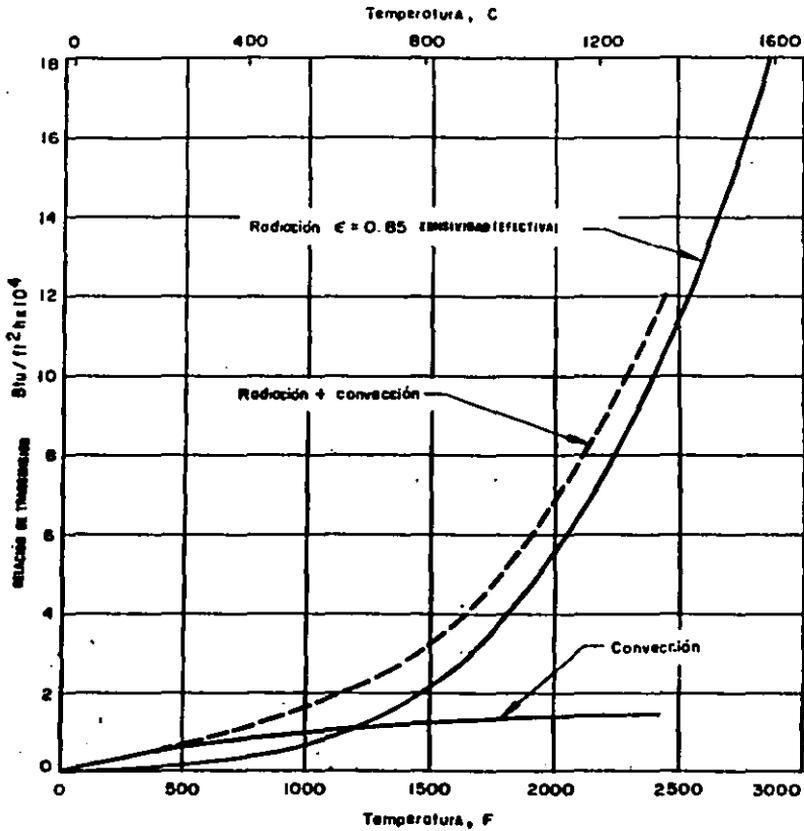


Figura 4-1 Comparación entre las razones de transmisión de calor y temperatura en convección solamente y para radiación y convección combinadas.

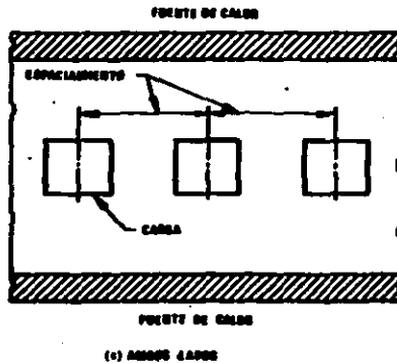
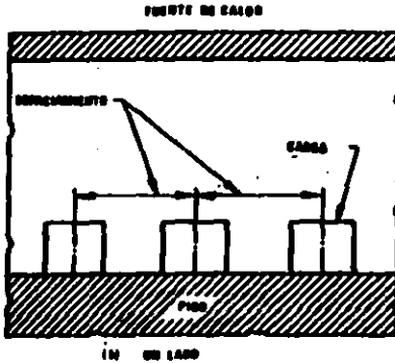
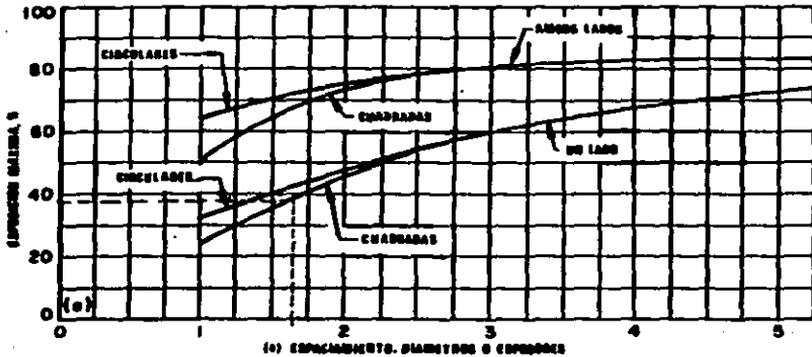


Figura 4-2 (a) Efecto del espaciado y la cantidad de exposición en la pieza de trabajo (carga) en porcentaje de exposición máxima (b) arreglo de la carga calentada por un solo lado (c) carga calentada por ambos lados.

La gráfica de la Fig. 4-2 establece superficie efectiva de la exposición en función de la separación entre las piezas expresadas como un porcentaje del ancho o diámetro de las partes.

Seleccionando 1.7% de separación, la distancia entre centros de las partes será para un ancho del lingote de 22".

Espaciamento = $1.7\% \times 22 = 37.4$ pulg.

Espacio entre lingotes = $37.4 - 22 = 15.4$ plg.

Este espaciamento, de la gráfica corresponde a una superficie de exposición de 38% aproximadamente.

Teniendo en cuenta esta separación entre lingotes, se puede determinar las dimensiones interiores del hogar del horno, considerando los espacios necesarios para que se puedan manipular los lingotes dentro del horno sin dañar las paredes interiores.

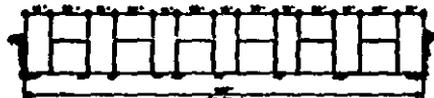


Figura 4-3

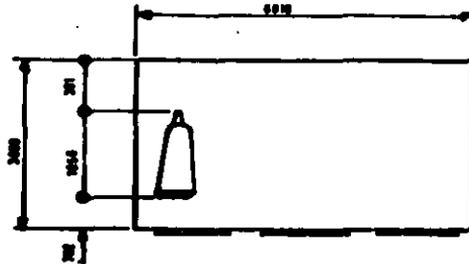


Figura 4-4 Vista en planta de las dimensiones interiores del Horno.

4.2 PERDIDAS DE CALOR.

4.2.1 Pérdidas de calor a través de las paredes del horno.

Siempre que exista una diferencia de temperaturas entre dos puntos, el calor fluirá del punto más caliente al más frío para equilibrar la temperatura. Una barrera aislante entre los dos puntos podrá detener, pero no completamente, el flujo de calor.

Los aislantes ligeros (ladrillo aislante -- y fibra cerámica) tienen una capacidad aislante igual a los ladrillos refractarios duros -- y más gruesos, que eran usados tradicionalmente. Por esta razón, el uso de refractarios ligeros se ha incrementado rápidamente en los hornos industriales durante los últimos años.

Sin embargo, debido a su baja resistencia y - su estructura porosa, no pueden estar en contacto con metales fundidos o en donde estén - sujetos a cargas pesadas o abuso mecánico.

Una vez que el horno ha alcanzado su temperatura de operación y sus paredes estén saturadas de calor, las pérdidas a través de las paredes serán constantes durante cualquier periodo de tiempo. Estas pérdidas se conocen como fijas o pérdidas en estado estable.

Las pérdidas a través de las paredes, son calculadas de acuerdo a la superficie interior del horno. Según las dimensiones determinadas en el capítulo 3, tenemos que:

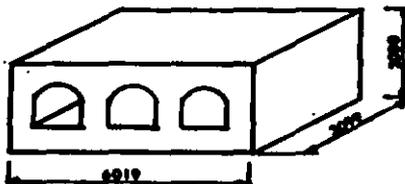


Figura 4-5 Dimensiones interiores del horno.

El área total (A_t) de las paredes más el piso y techo será de:

$$A_t = (6.019 \times 2.0) + (3.099 \times 2.0) \times 2 = 36.5 \text{ m}^2. (392.6 \text{ pie}^2)$$

Del capítulo número 3 en donde se calcularon las -
pulgadas equivalentes de revestimiento de la pared
compuesta, al sumar dichas pulgadas equivalentes, -
obtendremos las pulgadas equivalentes de toda la pa
red.

$$\left[\begin{array}{l} \text{Espesor} \\ \text{Equivalente} \end{array} \right] = 16.2 + 20.02 + 14.5$$

$$\left[\begin{array}{l} \text{Espesor} \\ \text{Equivalente} \end{array} \right] = 50.72 \text{ pulg. equivalentes}$$

Volviendo a la gráfica de la figura 3-1 determina-
mos que, para las 50.72 pulgadas equivalentes y a -
una temperatura en la cara caliente de 2400 °F, las
pérdidas totales a través de las paredes por unidad
de área son:

$$\left[\begin{array}{l} \text{Pérdida de} \\ \text{calor} \end{array} \right] = 35.5 \frac{\text{BTU}}{\text{Pie}^2 \text{ HR.}}$$

El total de pérdidas a través de las paredes es:

$$Q_p = 35.5 \frac{\text{BTU}}{\text{Pie}^2 \text{ HR}} = (392.6 \text{ pie}^2)$$

$$Q_p = 139380 \frac{\text{BTU}}{\text{HR}}$$

4.2.2 PERDIDAS DE CALOR A TRAVES DE LAS PUERTAS DEL HORNO.

Las pérdidas de calor a través de las puertas
del horno, las consideraremos, ahora por sepa-
rado, porque como ya se dijo, están construídas

con un revestimiento mucho más ligero y resistente a) calor como lo es la fibra cerámica.

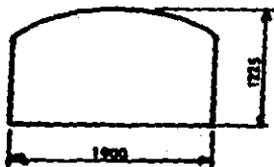
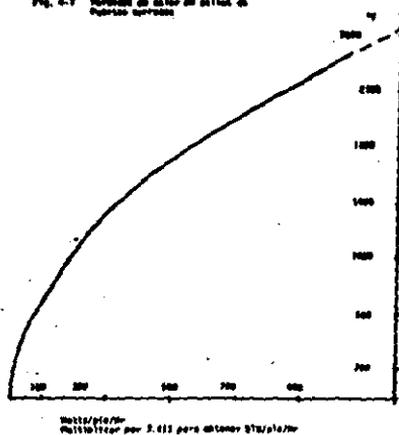


Fig. 4-6 Dimensiones de una puerta.

Fig. 4-7 Normales de calor en ellas en puertas cerradas



Con la fibra cerámica tenemos una pérdida de:
100 watts por pie lineal a 2400 °F

(De la figura 4-7 PERDIDAS EN SELLOS DE PUERTAS)

$$(1000 \frac{\text{watt}}{\text{pie}}) (3.413 \frac{\text{BTU}}{\text{HR}}) = 3413 \frac{\text{BTU}}{\text{pie HR}}$$

La longitud total de las puertas es de:

$$\text{Longitud total} = (1.9 + 1.225)6 = 18.75 \text{ m.} (\frac{3.281 \text{ pie}}{1 \text{ m.}})$$

$$\text{Longitud total} = 61.52 \text{ pie}$$

El calor perdido en las puertas será de:

$$Q_{\text{pta}} = (61.52 \text{ pie}) \quad 3413 \frac{\text{BTU}}{\text{Pie HR}}$$

$$Q_{\text{pta}} = 193 \ 353 \frac{\text{BTU}}{\text{HR}}$$

4.2.3 PERDIDAS DE CALOR A TRAVES DEL TECHO.

De acuerdo con la construcción, dimensiones y com
posición del techo, tenemos que las pulgadas tota
les equivalente son:



$$\left[\begin{array}{l} \text{Espesor} \\ \text{Equivalente} \end{array} \right] = 16.02 + 10.50$$

$$\left[\begin{array}{l} \text{Espesor} \\ \text{Equivalente} \end{array} \right] = 26.52 \text{ pulg. equivalentes}$$

De la fig. 3-1 obtenemos que las pérdidas a través del -
techo por unidad de área a 2400°F son de:

$$\text{Pérdidas Techo} = 665 \frac{\text{BTU}}{\text{HR pie}^2}$$

La superficie del techo es de:

$$A_s = (6.019) (3.099) = 18.65 \text{ m}^2 \frac{(3.281 \text{ pie})^2}{1 \text{ m}^2}$$

$$A_s = 201 \text{ pie}^2$$

$$Q_s = 201 \text{ pie}^2 (665 \frac{\text{BTU}}{\text{HR pie}^2})$$

$$Q_s = 133.510 \frac{\text{BTU}}{\text{HR}}$$

4.2.4 CALOR SUMINISTRADO A LA CARGA.

Ahora solo falta saber cuánto calor le debe--
mos suministrar a la carga para poderla ele-
var de la temperatura ambiente promedio de -
70°F (21°C) hasta la temperatura que el proce-
so requiere. Para que, por último se calcule
la cantidad de calor almacenada en las pare--
des y dar por concluido el balance térmico.

La cantidad de calor que la carga requiere -
es:

$$Q_c = w C_a (A_t)$$

Donde:

w = peso de la carga en libras.

C_a = calor específico del acero, $\frac{\text{BTU}}{\text{LB} \cdot ^\circ\text{F}}$

A_t = El incremento de temperatura desde 70° hasta 2400°F

Utilizamos un valor para el calor específico de 0.165 BTU/°F Lb., como recomendación de CAN-ENG*

$$W = 19200 \text{ Kg} \left(\frac{2.205 \text{ Lb}}{1 \text{ Kg.}} \right)$$

$$W = 42\,366 \text{ Lb.}$$

$$Q_c = (42\,366 \text{ Lb}) \left(0.165 \frac{\text{BTU}}{\text{Lb}^\circ\text{F}} \right) (2400 - 70^\circ\text{F})$$

$$Q_c = 16,276,075 \text{ BTU}$$

4.2.5 CALOR ALMACENADO EN EL REVESTIMIENTO.

Al considerar el calor almacenado en las paredes, piso y techo, se toma en cuenta que en -- ocasiones hay que empezar a calentar la carga - desde la condición más desfavorable, que es cuando el horno esté frío, con una rapidéz tal que - reduzca el choque térmico en los materiales de construcción.

La superficie total de las paredes es de:

$$A_p = 392.6 \text{ pie}^2$$

De la tabla 4-8 obtendremos el calor almacenado en las paredes.

$$h_{sp} = 13\,850 \frac{\text{BTU}}{\text{pie}^2}$$

$$Q_{lp} = (13\,850 \frac{\text{BTU}}{\text{pie}^2}) (392.6 \text{ pie}^2) = 5,437,510 \text{ BTU}$$

Para el piso y el techo con la utilización de la misma tabla 4-8.

* Compañía Canadiense de renombre mundial en hornos.

$$h_{sp-t} + 68 \frac{120 \text{ BTU}}{\text{pie}^2}$$

El área del piso y del techo es de:

$$A_{p-t} = 2 (6.019 \times 3.099) = 37.31 \text{ m}^2 \left(\frac{3.281 \text{ pie}}{\text{m}} \right)^2$$

$$A_{pt} = 402 \text{ pie}^2$$

$$Q_{2pt} = (68 \frac{120 \text{ BTU}}{\text{pie}^2}) (402 \text{ pie}^2)$$

$$Q_2 = 27 \ 384 \ 240 \ \text{BTU}$$

De tal forma que el calor requerido en el revestimiento (Q_r) será:

$$Q_r = Q_{1p} + Q_{2p} + 15,437,510 + 27,384.240$$

$$Q_r = 32 \ 821 \ 750 \ \text{BTU}$$

Como se mencionó, tomamos la condición más adversa en la cual hay que calentar el horno y la carga desde la temperatura ambiente hasta la de operación.

Así que, sumando el calor determinado en el inciso 4.2.3 y el 4.2.4, obtenemos el calor necesario en dicha condición.

$$Q_c + r = 16\ 276\ 025 + 32\ 821\ 750$$

$$Q_c + r = 49\ 097\ 775\ \text{BTU}$$

Para hacer más simple el cálculo se utilizan números redondos:

$$Q_c + r = 50\ 000\ 000\ \text{BTU}$$

El tiempo de calentamiento utilizando la figura 4-1 y la ecuación: $T = \frac{W}{K} C_p (T_2 - T_1)$

donde:

$$A = 237. \text{ pulg.} (0.38) \times (59 \text{ pulg.}) = 5314 \text{ pulg}^2 \text{ (37 pie}^2\text{)}$$

$$T = \frac{(7056 \text{ lb/lingote}) (6 \text{ lingote})}{37 \text{ pie}^2} (0.165 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}^\circ\text{F}} (2400 - 70)^\circ\text{F})$$

$$T = 439,84 \frac{\text{BTU}}{\text{pie}^2}$$

De la figura 4-1 a 2400°F se obtiene la relación de transmisión es:

$$\text{Relación + Transmisión} = 45\ 000 \frac{\text{BTU}}{\text{pie}^2} \times \text{hr.}$$

$$\text{Tiempo calefacción} = \frac{439\ 894 \frac{\text{BTU}}{\text{pie}^2}}{45\ 000 \frac{\text{BTU}}{\text{pie}^2} \text{ hr.}} = 9.7 \text{ hr.}$$

Se utilizarán 10 horas.

Temperatura Interior °F	10		20		30		40		50		60		70		80		90	
	h1	h2	h1	h2	h1	h2	h1	h2	h1	h2	h1	h2	h1	h2	h1	h2	h1	h2
100	818	877	877	795	830	220	27	71	217	370	60	117						
110	10010	10000	11070	10200	10012	12200	704	300	2002	2004	5054	706						
120				825		1700			300	300	300	300						
130	200	122	225	110	205	127	60	30	170	102	92	93						
140	1220	207	1000	310	1011	205	100	121	603	200	130	210						
150	10200	22200	10200	24070	10010	10000	1000	1000	2000	4000	9217	1000						
160		1222		1200		1211			307	303	1102	1070						
170				101	200						1223							
180	310	130	207	101	200	130	100	100	171	210	107	210						
190	1431	600	1200	375	1071	343	375	181	300	300	100	200						
200	10200	22200	10200	27700	11000	10000	1212	1002	2700	3120	9000	1210						
210		1222		1277		1000			300	207	1210	1000						
220	257	130	200	100	274	107	371	107	193	127	100	120						
230	1027	570	1011	400	1022			210	302	370	200	100						
240	10200	20200	10200	20070	10200			1200	2100	11010	9420	11000						
250		1021		1011					012	007	1004	1002						
260												1000						
270	307	100	200	100	207			130	110	210	137	210						
280	1000	601	1070	300	1007			200	310	300	200	210						
290		21770	11000	21020	10000			1304	2700	12710	7200	12000						
300		1000		1007					000	1004	1072	2000						
310	200	200	201	100	013			130	120	227	100	121						
320	2004	570	1700	300	2102					003		200						
330	10200	20200	21020	27000	10000					10100		12000						
340		1027		1770						1000		2200						
350												1000						
360	600	213	200	107	002					002		1000						
370																		
380			1000	010	220					1003								
390			20010	00020	17100					10000								
400				1010						1000								
410			010	200	000							200						
420																		
430			1000	170	000													
440			20000	00000	10070													
450				2003														
460																		
470			002	220	070													

Tabla 4-8 Pérdidas de calor, calor almacenado, y temperatura de pared de refractarios, basada en superficie de emisión de 0.95 y aire en condiciones estándar.

- h1= Pérdidas de calor BTU/Pie² HR
 h2= Calor almacenado BTU/Pie²
 i1= Temp. en primer interface cara caliente
 i2= Temp. en segunda interface cara caliente
 Tc= Temperatura en cara fría.

$$Q = \frac{c + r}{HR} = \frac{50\,000\,000}{10} = 5\,000\,000 \frac{BTU}{HR}$$

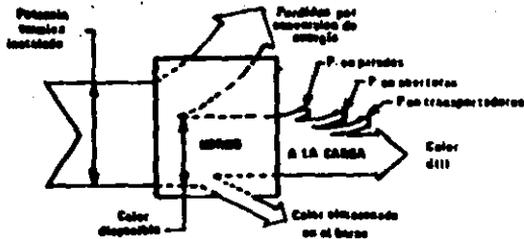
$$Q = c + r = 5\,000\,000 \frac{BTU}{HR}$$

4.3 POTENCIA TERMICA INSTALADA.

Un balance térmico es, simplemente, el establecer o contabilizar, en donde se usa el calor en un horno. La forma más simple de un balance térmico es:

$$\left[\begin{array}{c} \text{Potencia} \\ \text{Térmica} \\ \text{Instalada} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} \text{Calor} \\ \text{Util} \\ \text{Suministrado} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{c} \text{Pérdidas} \end{array} \right]$$

Un diagrama esquemático que representa un balance térmico para cualquier tipo de combustible o forma de calentamiento de un horno, se muestra en la figura 4-9 a continuación.



La conversión de la energía química o eléctrica a calor, nunca es al 100% de eficiencia. Debido a la naturaleza del proceso de conversión, parte de la -

energía es inevitablemente perdida.

Cuando un combustible como el gas natural, propano o combustible líquido es quemado con las cantidades químicamente correctas de aire, los productos de la combustión incluyen vapor de agua, nitrógeno y bióxido de carbono. El calor generado por la combustión, eleva la temperatura de los gases cerca de 1930 °C (3500 °F). Parte de ese calor, es transmitido al horno; si se dejan permanecer en el horno lo suficiente, éste igualará su temperatura con la de los gases. En la práctica, los gases son extraídos del horno de menos a una temperatura de 55-100 °C - - - (100-200 °F) arriba de la temperatura de control. El calor que llevan los gases de combustión son significativamente el 25% de la potencia térmica instalada a una temperatura de gas de 427 °C (800 °F), y el 50% a una temperatura de 1010 °C (1850 °F). Las pérdidas por conversión de energía aumentan con la temperatura del horno.

La porción que permanece de la potencia térmica instalada, después de las pérdidas por los gases de combustión, se llama calor disponible y es la energía que deberá calentar la carga (calor útil suministrado), además de compensar las pérdidas en paredes, aberturas y almacenadas en paredes. El calor disponible, usualmente se expresa como un porcentaje de -

la potencia térmica instalada o como energía por -
unidad de tiempo (BTU/HR. por ejemplo).

Debido a que las pérdidas por conversión de energía
varían con la temperatura de los gases, también lo -
hace el calor disponible. Este también varía con la
relación aire combustible. En forma ideal de la -
relación aire-combustible, el calor disponible es -
máximo para cualquier temperatura en los gases de -
combustión. Si se suministra un exceso de aire, --
produciendo una condición oxidante o pobre, el calor
disponible disminuye. De aquí que, una mayor canti-
dad de exceso de aire acarrea menor cantidad de ca-
lor disponible. El efecto general de la temperatu-
ra de los gases y el porcentaje de exceso de aire -
sobre el calor disponible se muestra en la gráfica -
de la figura 4-10

Con los datos obtenidos en la gráfica, determinamos
la potencia térmica instalada, a partir de la relación

$$\left[\begin{array}{c} \text{Potencia} \\ \text{Térmica} \\ \text{Instalada} \end{array} \right] = \frac{\left[\begin{array}{c} \text{Potencia} \\ \text{Térmica} \\ \text{Neta} \end{array} \right]}{\left[\begin{array}{c} \text{Calor} \\ \text{Disponible} \\ \% \end{array} \right]}$$

La potencia térmica neta, es igual a la suma de to-
das las cantidades de calor que se obtuvieron ante-
riormente.

	139,380
+	193,353
	133,510
	<u>5,000,000</u>
	5,466,243
+ 5%	<u>273,312</u>
	5,739,555

Más 5% de pérdidas no consideradas,
como recomendación de los fabricantes de Hornos en un caso como este.

$$\boxed{\begin{array}{l} \text{Potencia} \\ \text{Térmica} \\ \text{Neta} \end{array}} = 5\,739,555 \frac{\text{BTU}}{\text{HR}}$$

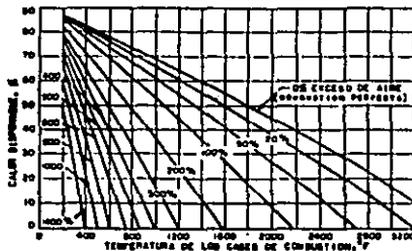


FIG. 4-10

Ahora entrando a la gráfica de la figura 4-10 con una temperatura en los gases de combustión de 2600 °F (1427 °C) y un exceso de aire del 10%, tenemos que, el calor disponible como porcentaje del calor total será de aproximadamente:

$$\left[\begin{array}{l} \text{Calor} \\ \text{Disponible} \end{array} \right] = 38\%$$

Sustituyendo en la ecuación indicada:

$$\left[\begin{array}{l} \text{Potencia} \\ \text{Térmica} \\ \text{Instalada} \end{array} \right] = \frac{5\,739,555 \text{ BTU}}{0.38 \text{ HR}}$$

$$\left[\begin{array}{l} \text{Potencia} \\ \text{Térmica} \\ \text{Instalada} \end{array} \right] = 15,104,092 \text{ BTU/HR.}$$

La potencia térmica instalada es la máxima cantidad de energía por unidad de tiempo, que se deberá liberar para cumplir con los requisitos que nuestro proceso necesita.

5.- SISTEMA DE COMBUSTION.

Las características de un sistema de combustión o equipo para quemar el combustible son: 1) Localizar la posición de las flamas en el lugar adecuado para la liberación del calor, 2) El iniciar y mantener la ignición, 3) Mantener la proporción aire-combustible 4) Mantener la relación aire-combustible a la proporción y presiones adecuadas, para que los puntos anteriores se lleven acabo con seguridad, tal y como lo demanda el proceso.

5.1 SELECCION DE QUEMADORES.

Quemadores para gas, de mezcla en la boquilla. Como su nombre lo indica, en este tipo de quemadores, el gas y el aire de combustión no se mezclan hasta abandonar sus puertos respectivos; los dos fluidos se mantienen separados dentro del mismo quemador, pero los orificios de las boquillas están diseñados para que ambos fluidos se mezclen íntimamente al salir.

Los quemadores de mezcla en la boquilla están diseñados para una amplia flexibilidad de operación. Pueden ser usados satisfactoriamente en la mayoría de los equipos industriales de calefacción, en donde se deseé un quemador sellado. Son ampliamente usados

en hornos para fusión de metal, hornos de forja, para calentamiento de lingotes y calentadores de aire, en donde se desea liberar una gran cantidad de calor por cada quemador. Los quemadores de mezcla en la boquilla son una excelente opción.

Con la utilización de la tabla 5-1 que nos muestra la capacidad de varios modelos de quemadores (Marca Eclipse) de mezcla en la boquilla con distintas presiones de aire, seleccionaremos un quemador que funcione de acuerdo a la potencia térmica instalada determinada en el capítulo anterior.

El número de quemadores que vamos a utilizar será determinado en base a su capacidad, como ya se dijo, y también al espaciamiento entre cada uno de acuerdo al espacio disponible en las paredes del horno.

La pared del horno mide 3000 mm. si lo dividimos entre 5 espacios tenemos que:

$$\frac{3000}{5} = 600 \text{ mm.}$$

Notamos que, como se muestra en la figura 5-2, tenemos 5 espacios de 600 mm. cada uno y así entre cada espacio localizamos un quemador; lo que nos da un -

total de ocho quemadores. 4 a cada costado del -
horno.

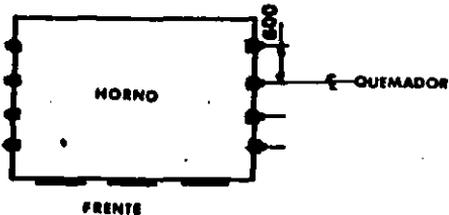


FIG. 5-2

Ahora dividiendo la potencia térmica instalada entre el número de quemadores:

$$\left[\begin{array}{c} \text{Capacidad} \\ \text{por} \\ \text{Quemadores} \end{array} \right] = \frac{\left[\begin{array}{c} \text{Potencia} \\ \text{Térmica} \\ \text{Instalada} \end{array} \right]}{\left[\begin{array}{c} \text{Número de} \\ \text{Quemadores} \end{array} \right]}$$

$$CQ = \frac{15,104.092 \text{ BTU}}{8 \text{ HR}} =$$

$$CQ = 1,888.012 \frac{\text{BTU}}{\text{HR}}$$

O sea, que cada quemador debe ser capaz de liberar esa cantidad de energía en una hora. Entonces de -
la tabla 5 - 1 seleccionamos:

Quemador	Capacidad BTU/HR con varias presiones de aire en pulg. C.A.						
	0.3	1	2	4	7	14	21
128 NH	290,000	590,000	805,000	1,190,000	1,640,000	2,198,000	2,710,000

Tabla 5 - 1

Quemador No. 128 NH para 14 pulg. C.A. de presión de aire de combustión.

Con este quemador, estamos arriba de la potencia térmica instalada, y tenemos la seguridad de que funcionará, si se trabaja con la presión adecuada.

Poder calorífico neto	Poder Calorífico por unidad de volumen		
	Btu/pie ³	Kcal/m ³	MJ/m ³
Acetileno, C ₂ H ₂	1477	13140	55.01
Hidrógeno, H ₂	325	2892	12.11
Metano, CH ₄	1012	9005	37.69
Propano, C ₃ H ₈	2524	22460	94.01

Tabla 5 - 3 PODER CALORIFICO DEL GAS NATURAL POR UNIDAD DE VOLUMEN

Nuestro sistema va a quemar gas natural, el cual tiene un poder calorífico de 1012 BTU/pe³ según se muestra en la tabla 5 - 3, que, además compara el poder calorí

fico de algunos otros combustibles gaseosos.

El gasto de combustible se calcula mediante la fórmula:

$$\left[\begin{array}{c} \text{Gasto de} \\ \text{Combustible} \end{array} \right] = \frac{\left[\begin{array}{c} \text{Potencia} \\ \text{Térmica} \\ \text{Instalada} \end{array} \right]}{\left[\begin{array}{c} \text{Poder} \\ \text{Calorífico} \\ \text{del} \\ \text{Combustible} \end{array} \right]} \quad (\text{Ver tabla 5-3})$$

De esta forma tenemos que:

$$\left[\begin{array}{c} \text{Gasto de} \\ \text{Combustible} \end{array} \right] = \frac{15,104,092 \text{ BTU}}{1012 \text{ BTU}} \frac{\text{HR}}{\text{Pie}^3} =$$

$$Gc = 14,925 \frac{\text{Pie}^3}{\text{HR}} \frac{1 \text{ m}^3}{3.281 \text{ pie}} = 423 \frac{\text{m}^3}{\text{HR}}$$

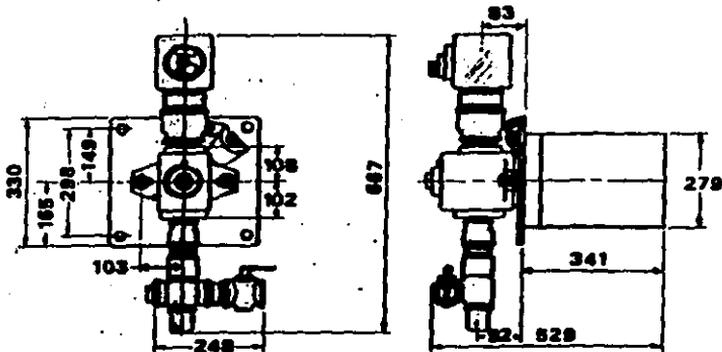


Fig. 5 - 4 Dimensiones básicas del quemador 128 NH completo marca "Eclipse" (acotado mm).

5.2 SELECCION DE VENTILADORES

Ahora, sabemos que para quemar un pie cúbico de gas natural es necesario suministrar diez pies cúbicos de aire (a presión y temperatura estándar), con lo que se tendrá una relación, aire-gas, estequiométrica o sea, una combustión perfecta. Así que, el volumen de aire para la combustión será:

$$\left[\begin{array}{l} \text{Gasto} \\ \text{Aire} \\ \text{Combustión} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{l} \text{Gasto} \\ \text{de} \\ \text{Combustible} \end{array} \right] \times 10$$

Una relación de 1 a 10

$$\left[\begin{array}{l} \text{Gasto de} \\ \text{Aire} \\ \text{Combustión} \end{array} \right] = 14\,925 \frac{\text{pie}^3}{\text{HR}} \times 10$$

$$\left[\begin{array}{l} \text{Gasto de} \\ \text{Aire} \\ \text{Combustión} \end{array} \right] = 149,250 \frac{\text{pie}^3}{\text{HR}}$$

Como se puede ver, es necesario suministrar ese volumen de aire para lograr la combustión, por lo que, de la tabla 5 - 6, seleccionamos un ventilador o soplador que tenga esa capacidad a la presión requerida.

Esta tabla corresponde a un turbo ventilador marca "Eclipse combustion" diseñados para sistemas industriales de combustión.

COMBUSTION PERFECTA

La combustión perfecta ocurre cuando una mezcla íntima del combustible y el aire en las proporciones exactas se quema produciendo una llama luminosa de tal manera que no sobra ni combustible ni -- Oxígeno.

Cuando la combustión se realiza con gas natural como combustible y oxígeno como comburente la reacción es :



Balaceando la reacción se tiene :



Ya que no se utiliza Oxígeno puro sino aire a presión y temperatura estandar (a nivel del mar) en donde, sensiblemente, la relación volumétrica es de 21 % de Oxígeno y 79 % de Nitrógeno y otros gases inertes, la reacción será :



De tal forma que en la reacción se puede apreciar que para que la combustión sea perfecta, por cada volumen de gas natural se requieren 10 volúmenes de aire.

Debido a las dimensiones del horno y su construcción, es muy probable que, si se usa un sólo ventilador para todo el horno, tendría que estar conectado a un cabezal, las pérdidas de presión serían muy elevadas, lo que nos llevaría a un ventilador con gran potencia en el motor del mismo, y por lo tanto, el costo se eleva demasiado. En cambio, si alimentamos el aire de combustión por medio de dos cabezales, uno a cada lado del horno, tendríamos las siguientes ventajas:

1) Los ventiladores serían más pequeños, 2) Existirá menor caída de presión, 3) Se ahorraría una sección considerable de cabezal, 4) Como se verá en los capítulos siguientes, vamos a controlar la temperatura en dos zonas distintas y la utilización de dos ventiladores es lo más adecuado para este propósito.

El gasto de aire de combustión que se calculó es, como se dijo, a presión y temperatura estándar, en otras palabras, es el gasto de aire requerido a nivel del mar. Vamos a suponer que el horno será instalado en la ciudad de México, lo que significa, que el volumen del aire debe ser mayor por causa de la altitud de la ciudad y su efecto sobre la densidad.

La tabla 5 - 5 nos muestra la variación de la presión barométrica y densidad de aire con la altitud.

Elevación sobre el nivel del mar MT.	Presión absoluta Mbar	mm Hg	Peso específico del aire a 15.6°C Kg/m ³	Densidad relativa del aire estándar G
0	1013.3	713	1.225	1.0000
2000	795.0	596	1.007	0.8220
2200	775.5	582	0.987	0.8057
2400	756.3	567	0.967	0.7894
3000	701.2	526	0.909	0.7420

Tabla 5 - 5 VARIACION DE LA PRESION BAROMETRICA Y DENSIDAD DEL AIRE CON LA ALTITUD.

La ciudad de México se encuentra a 2 200 metros sobre el nivel del mar, así que utilizamos la densidad del aire (G) como factor de corrección para la altitud de 2 200 metros.

$$\left[\begin{array}{l} \text{Gasto aire} \\ \text{combustión} \\ \text{corregido} \end{array} \right] = \frac{\left[\begin{array}{l} \text{Gasto de} \\ \text{aire} \\ \text{combustión} \end{array} \right]}{\left[\begin{array}{l} \text{Factor de} \\ \text{corrección} \\ \cdot G \end{array} \right]}$$

$$\left[\begin{array}{l} \text{Gasto aire} \\ \text{combustión} \\ \text{corregido} \end{array} \right] = \frac{149,250 \frac{\text{Pie}^3}{\text{HR}}}{0.8057}$$

$$\left[\begin{array}{l} \text{Gasto aire} \\ \text{combustión} \\ \text{corregido} \end{array} \right] = 185\,243 \frac{\text{Pie}^3}{\text{HR}}$$

Entrando en la tabla 5 - 6, por la capacidad del ventilador como motor totalmente cerrado (tefc). Para la mitad del aire de combustión requerido, debido a la utilización de dos ventiladores seleccionamos el siguiente:

Ventilador Modelo	Capacidad Nominal PCHS	Presión Pulg. C.A.	Motor HP
SM 101017	68000	20.0	7-1/2
SM 121217	125000	20.0	10
SM 101018	165000	20.0	15

Tabla 5 - 6 CAPACIDAD DE VENTILADORES MARCA ECLIPSE DE BAJA PRESION.

Este ventilador es muy adecuado, ya que da una capacidad arriba de la requerida con un motor no muy grande y una presión de descarga con buen valor para que, con la caída de presión que exista, a través de tubería y válvulas llegue al quemador con la presión suficiente.

5.3 CALCULO DE LAS PERDIDAS DE PRESION EN TUBERIAS.

En una forma esquemática, el sistema de suministro de aire de combustión se muestra en la figura 5 - 7. La cantidad de aire que pasa a través de la tubería,

está determinada por la capacidad del quemador y la sección en la cual estamos analizando. El método - que se siguió para la selección de la tubería fue, de prueba y error, hasta determinar un diámetro adecuado para obtener la menor caída de presión.

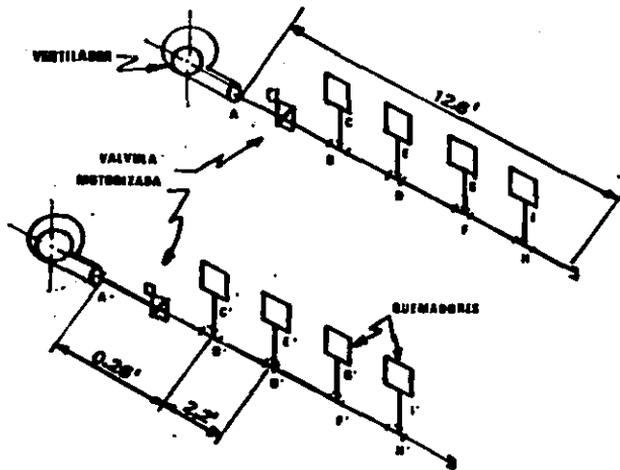


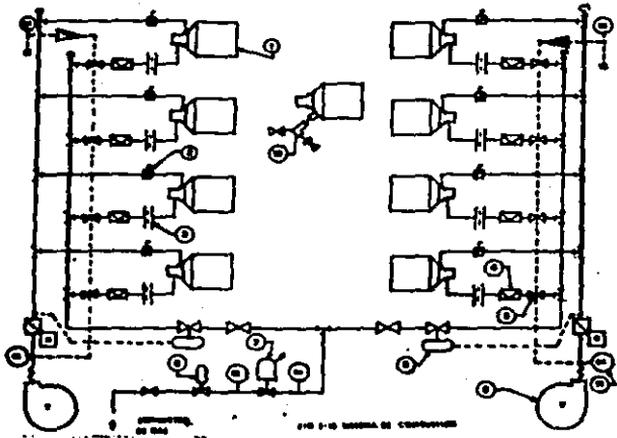
Fig. 5 - 7 Diagrama esquemático del sistema de suministro para aire de combustión (acotado en pies).

Las columnas 1 y 2 de la tabla 5 - 8 dividen el sistema de tubería en secciones marcadas con letras y - la longitud del tubo en cada sección. Como los ven-

tiladores son idénticos y el sistema simétrico, sólo se calcula un sólo lado de la tubería, las longitudes equivalentes para las conexiones se han tomado de los datos recopilados en la referencia bibliográfica con el número 13 al final del trabajo y la caída de presión para cada 100 pies en la columna 8 se ha obtenido de la figura 5 - 9.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Sección	Long. real tubo Pies.	Flujo P C H	Diámetro Nominal Pulg.	Uniones Pulg.	Long. Eq. Uniones Pies	Long. total 2 + 6	Δp. Onzas Pulg. ² para 100 Pies	Δp. Onzas/Pulg ² Actual $\frac{7 \times 8}{100}$
A-B	0.26	92,622	10	TE 10 x 4	5.3 + 24.1	29.6	0.5	0.1480
B-D	2.2	69,446	10	TE 10 x 4	5.3 + 24.1	31.6	0.33	0.1043
D-F	2.2	46,310	10	TE 10 x 4	5.3 + 24.1	31.6	0.2	0.0632
F-H	2.2	23,155	10	TE 10 x 4	5.3 + 24.1	31.6	0.2	0.0632
H-1	5	23,155	4			5	0.1	0.005
								<u>0.3837</u> TOTAL

Tabla 5 - 8 CAIDA DE PRESION EN TUBERIA PARA AIRE DE COMBUSTION



No.Pieza	Descripción	Marca	Cantidad
1	Quegador 128 MM	Eclipse	8
2	Válvula de mariposa 116 BV	Eclipse	8
3	Orificio de medición 86974-2400	North American	8
4	Válvula de orificio Limitante	North American	8
5	Válvula de supervisión (FM) SC	Eclipse	8
6	Regulador de relación	North American	2
7	Válvula de seguridad	Eclipse	1
8	Regulador de presión S-203 Resorte verde oscuro.	Fisher	1
9	Ventilador SM-121217-10	Eclipse	2
10	Mezclador 131 PM	Eclipse	8
11	Interruptor de presión 1823	Dwyer	6

Complemento Fig. 5 - 10

La figura 5 - 10 nos muestra un diagrama esquemático del ante proyecto del sistema de combustión, en el diagrama se muestran los diferentes dispositivos que intervienen en él y a continuación se seleccionan de acuerdo a los diferentes proveedores.

5.4 SELECCION DE VALVULAS DE REGULACION.

Para la selección de las distintas válvulas y reguladores, siempre se comienza desde el quemador hacia atrás, para ir calculando la caída de presión que se tiene a través de las válvulas y que los quemadores operen a las presiones de aire y gas que son las recomendadas para el quemador a utilizarse.

En la tabla 5 - 1 se indica que la mínima presión de gas a la que debe trabajar el quemador es de - - 2 pulg. C.A. (1.14 osi) y en la figura 5 - 2 se ve que la entrada para aire de combustión es para tubo de 102 mm. de diámetro (4 pulg) N.P.T. y para la entrada de gas se usa tubo de 51 mm. (2 pulg) de diámetro N.P.T. A continuación, es menester, el utilizar tanto la figura 5 - 10 como una serie de tablas de diversos manuales para ir seleccionando el equipo complementario.

5.4.1 VALVULAS DE MARIPOSA.

Las válvulas de mariposa, marcadas con el número 2 en la figura 5 - 10 serán de la marca Eclipse.

Estas válvulas están diseñadas para controlar el flujo de aire o gas en cualquier tipo de sistema de combustión. Tienen un disco visible para ver la posición de la válvula y son de ajuste manual. Las hay de puerto completo o puerto reducido.

El flujo de aire que se tiene en esta sección de la tubería es de 23,155 pies cúbicos por hora (PCH).

De la tabla 5 - 11 obtenemos la capacidad en PCH para puerto completo en tubo de 102 mm. - (4 pulg) y se observa que, para 47,000 PCH -- hay una caída de presión de 0.5 pulg. C.A. - (0.3 osi). En la tabla 5 - 12 está el número de catálogo, así se tiene.

[Válvula
Mariposa] = 116 BV ENS. No. 500994

Figura 5 - 13, con ayuda de la tabla 5 - 14 muestra las dimensiones de la válvula. El total de válvulas es de ocho.

CAPACIDAD CON PUERTO ABIERTO			
Díam. Tubo Pulg.	Coefficiente de flujo (CV) Puerto abierto	Capacidad en 0.5 Pulg.	PCH Cada aire/pulg.C.A. 0.75 pulg.
3	695	21,500	26,500
4	1500	47,000	57,000
CAPACIDAD PUERTO REDUCIDO			
3	170.5	4,800	5,900
4	274.5	8,800	10,750

Tabla 5 - 11 CAPACIDAD VALVULAS DE MARIPOSA

Díam. Tubo N.P.T. Pulg.	Rotación Manual 75%	Número Catálogo	Número Ensamble
4		116 BV	500994

Tabla 5 - 12 NUMERO DE CATALOGO DE VALVULA DE MARIPOSA

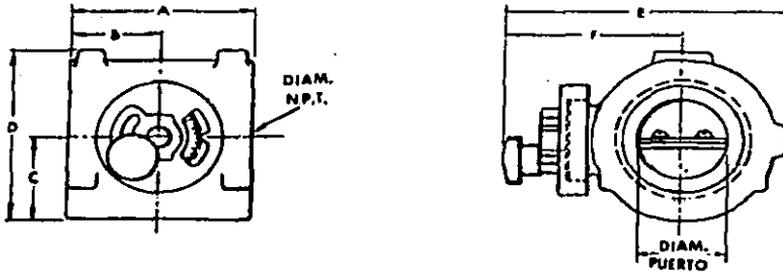


Fig. 5 - 13

Diám. Tubo N.P.T.	Dimensiones en milímetros					
	A	B	C	D	E	F
102	127	64	67	144	178	122

Tabla 5 - 14 DIMENSIONES DE LA VALVULA

5.4.2 ORIFICIO DE MEDICION

Los orificios de medición son dispositivos - baratos para medir el flujo de gas. Se instalarán en la línea de gas para cada quemador, éstos permiten un rápido y preciso ajuste en

la entrada del quemador para la relación de aire-gas.

El gasto de gas que pasa en este dispositivo es de 2315.5 PCH, con este valor y la gráfica de la figura 5 - 15; entrando por la izquierda en flujo para gas natural y por parte inferior con una caída de presión de 3.5 pulg. C.A., obtenemos una placa de orificio No. 24-00 del fabricante North American Mfg. Co. Ahora, con ayuda de la tabla 5 - 16, seleccionamos el número completo de la válvula según el fabricante lo describe.

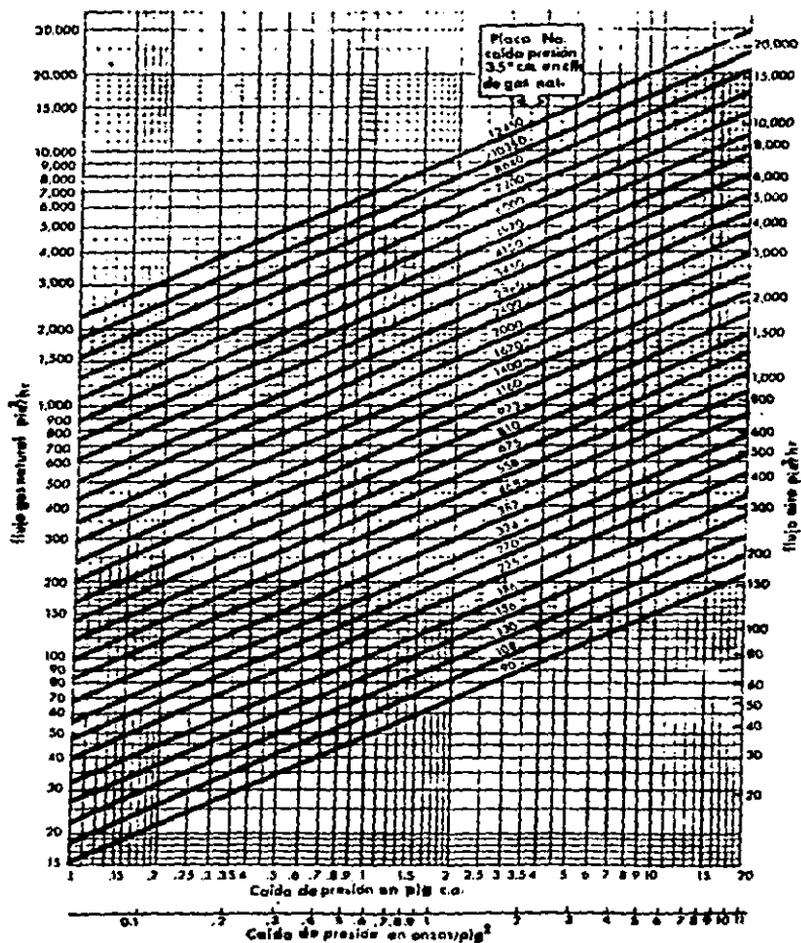


Fig. 5-15 CAPACIDAD DE LAS PLACAS ORIFICIO PARA MEDICION DE FLUJO DE GAS.

Placa No.	Capacidad de 3.5 pulg. C.A. de caída para gas natural.
2400	2400

Tabla 5 - 16 NUMERO DE CATALOGO DE ORIFICIO DE MEDICION.

La selección se efectúa con un tubo de 51 mm.(2 pulg) que es, como viene el quemador originalmente, de -- tal forma, el número del orificio de medición es:

Orificio
de
Medición = 8697-4-2400

Los primeros cuatro dígitos, de izquierda a derecha, nos indican el número del boletín del cual fue obtenida la información, el siguiente dígito es el código para el tamaño de la tubería y los cuatro últimos, el número de la placa de orificio.

5.4.3 VALVULA DE ORIFICIO LIMITANTE.

Las válvula para gas de orificio limitante - se instalarán en las líneas de combustible - para ajustar la relación gas-aire. Con su - sensible puerto en "V", el ajuste se hace fá - cilmente con el tornillo guía. Aquí, el flu - jo de gas continúa siendo de 2 315.5 PCH. -- Una vez más, utilizamos al fabricante North

American, así, con la ayuda de la tabla 5 - 17, entrando por la izquierda con una caída de presión de 0.3 onzas/pulg², recorriendo hacia la izquierda, llegamos a una capacidad de 2580 PCH, lo que lleva a una válvula para tubo de 64 mm. (2.5 pulg) de diámetro, el número de la válvula es:

$$\left[\begin{array}{l} \text{Válvula} \\ \text{Orificio} \\ \text{Limitante} \end{array} \right] = 1807-5$$

Y cuyas dimensiones se muestran en la figura 5 - 18 utilizando la tabla 5 - 19.

Caída de Presión
Onzas/Pulg.²

Capacidad P.C.H.	Designación de válvulas y diámetro de tubo en pulg.						
	1807-01 1/2	1807-0 3/4	1807-1 1	1802-2 1 1/4	1807-3 1 1/2	1807-4 2	1807-5 2 1/2
0.3	149	210	386	564	715	1720	2580

Tabla 5 - 17 CAPACIDAD DE LA VALVULA DE ORIFICIO LIMITANTE.

Por último, el número de válvulas de orificio limitante es de ocho también.

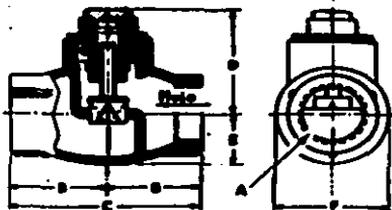


Fig. 5 - 18

Designación de válvula	Dimensiones en milímetros					
	A	B	C	D	E	F
1807.5	64	98	197	107	62	5

Tabla 5 - 19 DIMENSIONES DE LA VALVULA DE ORIFICIO LIMITANTE.

5.4.4 VALVULAS MACHO SUPERVISORAS (FM).

Las válvulas supervisoras (FM) se usan para prevenir la introducción inadvertida de gas al quemador antes que comience el ciclo de encendido. Estas válvulas se usan como válvula principal para cierre de gas en cada quemador. Cuando las válvulas están cerradas, la vía secundaria se abre en cada válvula y a través de ésta pasa una línea de - -

presión de aire la cual termina en un interruptor de presión normalmente cerrado.

El interruptor está eléctricamente interconectado con la válvula de seguridad principal de gas y ésta no podrá ser abierta a menos que todas las válvulas supervisoras estén cerradas.

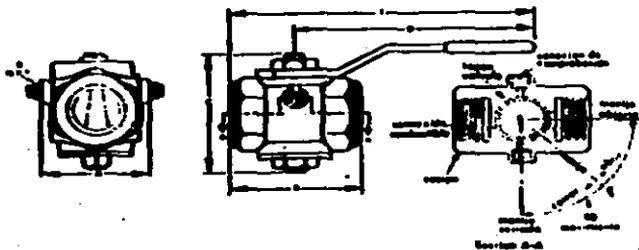


Fig. 5 - 20 Válvula Macho Supervisoras.

Tamaño	Número Catálogo.	Número ensam-ble.	Coeficiente de Flujo CV Puerta Abierta.	Flujo aire estándar.	DIMENSIONES					
					A	B	C	D	E	F
30.1	63C	15961	41.7	1797	102	133	131	505	6	371

Tabla 5 - 21 CAPACIDAD Y DIMENSIONES DE LAS VALVULAS FM.

Tal y como lo especifica el fabricante (Eclig se Combustion División) la caída de presión - es de 1 pulg. C.A. por 1.29, por ser gas natural el fluido que se está manejando, se tiene que la válvula que utilizará el sistema es:

$$\left[\begin{array}{l} \text{Capacidad} \\ \text{para} \\ \text{Gas natural} \end{array} \right] = 1797 \times 1.29 = 2318 \text{ PCH}$$

Por lo tanto, tenemos una válvula 6 SC. con número de ensamble 15961 y un tamaño para tubo de 38 mm. (1.5 pulg) de diámetro N.P.T. - La cantidad de válvulas es la misma que de quemadores.

5.4.5 REGULADOR DE RELACION AIRE/GAS.

Cuando se usa este tipo de regulador en quemadores del tipo de mezcla en la boquilla, - la ventilación se conecta directamente a la línea principal de aire; después de la válvula de control, la salida de presión de aire será igual al impulso del aire y el flujo de gas permanecerá proporcional al aire en cualquier demanda de calor. Además, el regula--dor puede ser usado para un banco de quemadores que son controlados por la misma válvula,

lo cual es mejor que tener un regulador para cada quemador.

Para seleccionar el regulador, hay que tomar en cuenta la capacidad en pies cúbicos por hora y con ésto entrar a la tabla 5 - 22. -- Además de la densidad el gas natural que es de 0.6.

Capacidad PCH	Densidad del gas			
	0.4	0.6	1.5	2.0
7218-6	7350	6000	3800	3300
7218-7	13400	11000	7000	6000

Tabla 5 - 22 CAPACIDAD CON CAIDA DE PRESION DE 2 ONZAS/PULG.²

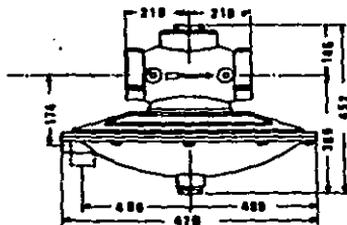
$$\left[\begin{array}{l} \text{Flujo} \\ \text{de} \\ \text{Gas} \end{array} \right] = 2315.5 \times 4 = 9262 \text{ PCH}$$

Por recomendación del fabricante se debe seleccionar una caída de presión de 3.5 pulg. C.A. (89 mm. C.A.) Se utilizará un regulador designado como:

$$\left[\begin{array}{l} \text{Regulador} \\ \text{de} \\ \text{Relación} \end{array} \right] = . 72 \text{ 18-7}$$

ESTA TESIS NO DEBE
SAR DE LA BIBLIOTECA

Las dimensiones de este regulador de relación (marca - - North American) se muestran en la fig. 5 - 23



Como se puede ver, ahora el flujo de gas es el de cuatro quemadores, por lo tanto, se utiliza un regulador que sea capaz de manejar este volúmen, un regulador mayor será -- innecesario pues aumenta su costo.

La cantidad de reguladores de relación será de dos, que es lo correspondiente para cada zona de control de temperatura en el horno.

5.4.6 VALVULA DE SEGURIDAD PRINCIPAL DE GAS

Las válvulas de seguridad están provistas de un solenoide, el cual abre la válvula mediante una señal eléctrica y la cierra rápidamente si es que falla la señal. Una vez que la válvula ha sido cerrada, ésta no podrá ser abierta a menos

que la causa por la cual la válvula se cerró sea corregida y el solenóide se pueda reenergizar. - Además, el restablecimiento tiene que ser manual, para asegurar que el operador corrija la falla.

Para seleccionar la válvula apropiada de tamaño y con la corriente eléctrica adecuada hay que saber: 1) El flujo requerido a través de la válvula, 2) La caída de presión deseada, y 3) La corriente y la frecuencia del suministro eléctrico.

Como la válvula va a manejar el gas necesario para alimentar a los ocho quemadores, el gasto es de 18524 PCH. Como caída de presión recomendada de 9 pulg. de C. A. (5.1 psi), de tal forma que el tamaño de válvula no sea muy grande (ver figura 5-25) con un gasto de 18524 PCH de gas y una caída de presión de 9 pulg. C.A. tenemos una válvula con un cuerpo de 64 mm. (2.5 pulg.) de diámetro y el modelo de la válvula es de 210 LT. Los demás datos de dimensiones se ven en la tabla 5-25 y la figura 5-27. La entrada para una válvula de este tamaño es de conexión bridada.

Modelo 210-LT-IF-3

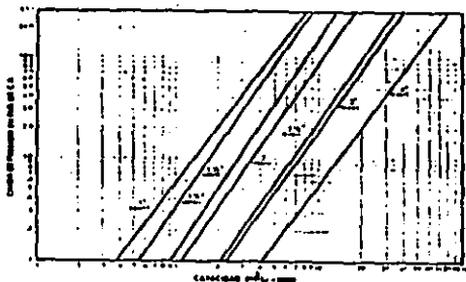


Fig. 5 - 24 CAPACIDAD DE LA VALVULA DE SEGURIDAD PRINCIPAL DE GAS
(GAS NATURAL).

Número de Catálogo	Tensión Volts.								
		A	B	C	D	E	F	G	H
210 LT-IF-3	120	51	358	78	200	321	146	248	37

Tabla 5 - 25 DIMENSIONES DE LA VALVULA DE SEGURIDAD PRINCIPAL DE GAS.

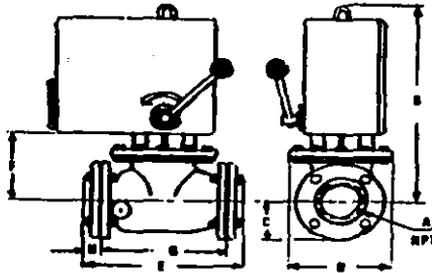


Fig. 5 - 26 VALVULA DE SEGURIDAD PRINCIPAL DE GAS.

5.4.7 REGULADOR DE PRESION.

Para seleccionar el regulador de presión de gas, que en esta ocasión es marca "Fisher -- Governor Company", hay que tomar en consideración los siguientes aspectos: 1) El gasto que se va a manejar, 2) La presión después del regulador. Esta presión se determina de la siguiente forma; sumando las diversas - - caídas de presión que se han tenido desde el quemador hasta el regulador, y ligeramente - arriba para seguridad en la operación del -- quemador, el cuál tenía como recomendación, que trabajará a 2 pulg. C.A. como mínimo así que se fijará en 3 pulg. C.A.

$$[\text{Caída de presión}] = 0.5 + 3.5 + 0.53 + 1 + 3.5 + 9 + 3 = 21.03 \text{ pulg. C.A. (534 mm C. A.)}$$

Se usará un regulador de la serie S-200 y cuyas presiones de salida se muestran en la tabla 5 - 27 así como la capacidad y las dimensiones.

Tipo	Presión descarga en Pulg. C.A.	Resorte	Tamaño cuerpo mm.	Orificio mm.	Capacidad pie/HR	Presión máxima entrada ₂ lb/pulg. ²
S-203	14-30	Verde Osc. # 108933	51	19	25,000	30

Tabla 5 - 27 DIMENSIONES Y CAPACIDADES DEL REGULADOR (DATOS PARA GAS NATURAL).

Donde se selecciona uno con un rango de salida en la descarga 14-30 pulg. C.A. con un resorte de color verde oscuro con número de parte 108933 que nos resulta un regulador S-203 con cuerpo de 41 mm. (2 pulg.) y un orificio de 19 mm. (3/4 pulg.) a una presión de entrada de 30 Lbs/pulg.²

6. DESALOJO DE LOS GASES DE COMBUSTION:

6.1 TIRO Y PRESION EN HORNOS.

El término tiro, se refiere a la diferencia de presiones que empuja o jala el aire, combustible y humos, entendiéndose por éstos últimos, como los gases que resultan de la combustión, a través del horno. Hay un tiro forzado cuando el aire y el combustible se introducen al horno mediante una presión positiva que los empuja o fuerza dentro de la cámara de combustión. Se dice que un tiro inducido existe, cuando hay una presión negativa a la salida del horno que jala o succiona los humos de la cámara de combustión. Ahora bien, el tiro natural es el producido por la tendencia (natural) del aire caliente al ascender, el tiro natural es casi siempre provocado por una chimenea. Tiro mecánico, es el creado por dispositivos hechos por el hombre tales como sopladores, ventiladores, extractores o eyectores. El tiro forzado siempre es mecánico.

Con objeto de establecer el paso de los gases hacia el interior y la salida de humos desde la cámara de combustión, un horno debe tener una forma de tiro forzado, de tiro inducido o chimenea.

Cuando se utiliza un tiro forzado, la presión dentro del horno es más fácil de controlar. Se dice que la presión en el horno o cámara de combustión es positiva cuando es mayor que la presión atmosférica. Si la presión real dentro del horno es menor que la atmosférica, se dice que es negativa. Y, si la presión dentro del horno es exactamente igual a la atmosférica, se dice que es neutral o balanceada.

Las presiones positivas tienen la desventaja de soplar el fuego fuera de las puertas y otras aperturas del horno lo que, aumenta los problemas de mantenimiento. La presión neutra sería lo más deseable, pero es difícil de mantener. Ver figura 6 - 1.

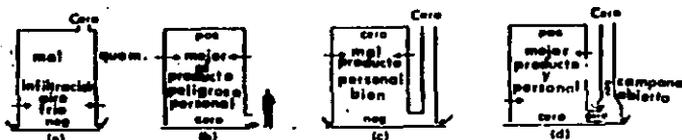


Fig. 6 - 1

Si un horno, tiene una salida de humos directamente a la atmósfera la presión del horno tenderá a ser - cero al nivel de esa salida, aumentándose positivamente por arriba de ese nivel y más negativamente en los puntos más alejados por abajo de ese nivel.

Sin embargo, el punto neutral, se moverá hacia abajo conforme aumenta la entrada de aire y combustible, y hacia arriba conforme decrece la entrada de combustible y aire.

Aún con un horno teóricamente hermético sin infiltración de aire frío, la uniformidad de la temperatura de la carga sería mejor con los quemadores situados arriba y abajo (Ver fig. 6-1 D), la segunda mejor, - con los quemadores arriba y tiro abajo (fig. 6 - 1 - B y C) y el menos aconsejable con quemadores abajo y salida de humos arriba (fig. 6 - A). La disposición alternada de los quemadores debe ser tal, que no se oponga a otros quemadores o que apunten a la salida.

En la figura 6 - 2 se muestra como con tiro natural solamente, el punto neutro se mueve hacia arriba y hacia abajo dependiendo de la potencia consumida.

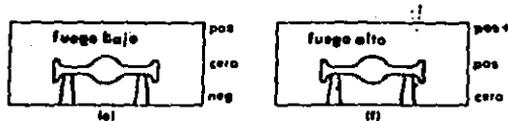


Fig. 6 - 2

Con un equipo de tiro forzado la presión en el horno será igual a la diferencia de presión estática que produce el equipo, menos la pérdida neta de presión por la fricción en los conductos de humos. El equipo puede ser un ventilador que suministra aire de combustión a los quemadores de un horno industrial.

Si no hay equipo de tiro forzado, la presión en el horno será negativa ya que el tiro forzado tiene un valor cero:

$$\left[\begin{array}{l} \text{Presión en} \\ \text{el horno} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{l} \text{tiro} \\ \text{forzado} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{l} \text{pérdidas por} \\ \text{fricción} \end{array} \right] \quad (6-1)$$

La presión en el horno, también es igual a las pérdidas de presión por fricción en los conductos, menos la diferencia de presión estática que produce una chimenea o un equipo de tiro inducido, se tiene que:

$$\left[\begin{array}{l} \text{Presión en} \\ \text{el horno} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{l} \text{pérdidas por} \\ \text{fricción} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{l} \text{tiro} \\ \text{inducido} \end{array} \right] \quad (6-2)$$

Si no hay tiro inducido, la presión en el horno será positiva porque el valor del tiro es cero; si igualamos las ecuaciones (6-1) y (6-2).

$$\left[\begin{array}{l} \text{Tiro} \\ \text{forzado} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{l} \text{tiro} \\ \text{inducido} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{l} \text{pérdidas} \\ \text{por fricción} \\ \text{a la entrada} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{l} \text{pérdidas} \\ \text{por fricción} \\ \text{a la salida} \end{array} \right] \quad (6-3)$$

Se observa que en el caso de un horno sin equipo de tiro forzado, el tiro inducido (mecánico y/o natural), es igual a la suma de pérdidas a la entrada y la salida.

La magnitud de la diferencia de presión estática que produce los ventiladores de tiro forzado o inducido, la proporcionan los fabricantes de estos equipos.

La pérdida de presión debida a la fricción en la entrada y la salida (ductos), puede calcularse mediante las ecuaciones a continuación:

$$\Delta P_{\text{Posi}} = 0.00000411 \quad F \frac{L}{d^5} \quad G (PCH)^2 \quad (6-4A)$$

$$\Delta P_{\text{mCA}} = 781320 \quad F \frac{M}{MM} \quad G (M^3/HR). \quad (6-4B)$$

En donde:

G= Densidad con relación al aire STP.

L= Longitud.

d= Diámetro interno.

f= 0.0257 sin dimensiones, común a muchos casos.

Si los ductos son cuadrados se calcula el diámetro equivalente.

$$dc = 1.30 \times \frac{(h \times b)^{0.625}}{(h \times b)^{0.250}} \quad (6-5)$$

Donde:

h, b ; son las dimensiones del ducto en pulgadas.

También se puede usar la siguiente expresión aproximada:

$$\Delta P(\text{pulg.C.A.}) = 48.0 \times \frac{\text{long. (pie)}}{(\phi \text{ interior (pulg)})^5} \left[\frac{\text{Densidad}}{\text{Lb/pie}^3} \right] \times \left[\frac{\text{Caudal}}{\text{PCS}} \right]^2 \quad (6-6)$$

En donde la densidad es aproximadamente la del aire a la temperatura media dentro del pasaje. El volumen de gases se puede obtener de tablas o estimar - aproximadamente, asumiendo que cada 95 BTU netos de potencia consumida produce un pie cúbico de humos a 16°C (60°F). El volumen de gases calientes se puede calcular multiplicando por:

$$\frac{t+460}{520}$$

Donde:

$$t = ^\circ\text{F}$$

En donde t es la temperatura promedio de los humos: Consecuentemente tenemos que:

$$\left[\begin{array}{l} \text{Pie}^3 \text{ seg. de humos} \\ \text{a temperatura } t \end{array} \right] = \frac{\frac{\text{BTU}}{\text{HR}} (t + 460)}{177\,500\,000} \quad (6-7)$$

6.1.2 PUERTOS PARA HUMOS EN LOS HORNOS.

En la mayoría de los hornos industriales para calefacción, la atmósfera dentro del horno es

un factor de importancia, por lo que se usa una presión positiva para prevenir la infiltración. El propósito de los puertos y chimeneas, no es tanto la creación de un tiro - como el desalojo seguro de los humos.

Los puertos deben situarse de tal forma, que los gases de combustión no recorran un circuito corto del quemador al puerto, sino que circulen lo suficiente para calentar la carga.

Los puertos localizados en o cerca del hogar generalmente son mas satisfactorios que los colocados cerca o en el techo. Esta última condición no sólo facilita los trayectos cortos sino que tiende a facilitar que la cámara de combustión actúe como una chimenea, la cual succionará el aire frío al fondo del horno. La circulación es un factor muy crítico en los procesos de baja temperatura en los - que la mayoría del calor se transmite por -- convección en comparación con los procesos de alta temperatura en los que la mayoría del calor se transmite por radiación.

El dimensionar los puertos, es un proceso de tantos utilizando las fórmulas mencionadas - con anterioridad. Este método es largo y --

laborioso, por lo que es conveniente usar el siguiente método.

En la tabla 6 - 8, se encuentran los gastos para las velocidades máximas permisibles a través de puertos construidos en dimensiones de ladrillos refractarios comunes y para una presión interna no mayor de 0.51 mm. (0.02 pulg) de columna de agua, el cual es un valor comúnmente aceptado.

Temperatura promedio en el ducto °F	Altura del ducto pies	DIMENSIONES EN PULGADAS			
		4.5 x 4.5 (20.25)	4.5 x 9 (40.5)	9 x 9 (81)	18 x 18 (324)
1200	3	1.95	3.97	8.11	32.8
1200	8	2.53	5.23	10.92	45.4
1200	20	3.21	6.89	14.86	64.3
1600	3	2.22	4.52	9.23	37.6
1600	8	2.91	6.05	12.61	52.4
1600	20	3.71	7.96	17.18	74.2
2200	3	2.57	5.26	10.75	43.6
2200	8	3.39	7.09	14.74	61.4
2200	20	4.31	9.29	20.15	87.4

Tabla 6 - 8

En cualquier puerto, una gran parte de las pérdidas de presión, se debe a la pérdida de entrada, así que es posible simplificar el procedimiento para dimensionar los puertos si

se añade posteriormente un factor de seguridad que tome en cuenta las pérdidas por cambios de dirección y de fricción en las paredes.

Considerando la pérdida a la entrada como una pérdida en orificio, en términos de gasto de masa, la descarga permisible de la potencia instalada por pulgada de puerto es:

$$\text{Potencia instalada/HR/pulg}^2 = 55 \times 10^4 K \sqrt{AP} W$$

En donde: (6-9)

K= coeficiente de flujo para la entrada al puerto.

W= Densidad del humo en lbs/pie³ a la temperatura de los humos.

AP= Es la presión dentro del horno en pulg.de columna de agua más el tiro que provoca una chimenea según la fórmula: 6-10.

$$D = 0.01467 \times H \sqrt{\frac{W_g}{W_a}} \times \frac{520}{t_s + 460} \quad (6-10)$$

Donde:

H= Altura efectiva de la chimenea en pies.

D= Tiro teórico en pulg. de columna de agua.

t_s= Temperatura media en la chimenea en °F.

W_g= Densidad de los humos.

W_a= Densidad del aire.

La temperatura media de la chimenea puede -- aproximarse como la temperatura a la mitad --

de la distancia entre la derivación al horno y la boca de la chimenea.

La razón Mg/Wa es usualmente cercana a 1.0 - según la firma "North. American Mfg. Co." - con datos de tipo teórico calculado con diferentes temperaturas medias.

Es práctica común sobredimensionar los puertos debido a variables no previstas, lo que se corrige fácilmente cerrando parcialmente la boca del puerto con un ladrillo, que permite se cuente con cierta facilidad para ajustar la presión del horno.

Las fórmulas anteriores y cifras aproximadas presuponen que el combustible se quema en relación estequiométrica con el aire. Si se usa aire en exceso en fuego alto se debe multiplicar el valor de la potencia térmica/Hr/pulg.² por los siguientes factores por exceso de aire.

<u>EXCESO DE AIRE</u> <u>%</u>	<u>FACTORES DE CORRECCION</u> <u>%</u>
25	0.88
50	0.73
75	0.63
100	0.55
150	0.44
200	0.37
300	0.28
400	0.22

6.2 CALCULO DE DUCTOS PARA DESALOJO.

De acuerdo a la teoría de desalojo de humos, se - -
 procede al cálculo de los ductos de humos para - -
 el horno de forja:

El volumen de gases calientes es:

Con una temperatura de gases promedio igual a:

$$T_p = 2200 \text{ } ^\circ\text{F} \quad (1204 \text{ } ^\circ\text{C})$$

La potencia térmica bruta es, de acuerdo a los datos
 obtenidos en el capítulo 4.

$$15\ 104\ 092 \frac{\text{BTU}}{\text{HR}}$$

Entonces: con la fórmula 6-7

$$\left[\frac{\text{gasto de gases calientes}}{\text{tes.}} \right] = \frac{(15\ 104\ 092) (2200 + 460)}{177\ 500\ 000}$$

$$\left[\frac{\text{gasto de gases calientes}}{\text{tes.}} \right] = 226 \frac{\text{pie}^3}{\text{seg.}}$$

Al efectuar el cociente:

$$\left[\frac{\text{número de ductos.}}{\text{ductos.}} \right] = \frac{\left[\frac{\text{Gasto de gases calientes}}{\text{tes.}} \right]}{\left[\frac{\text{Gasto por ducto}}{\text{tes.}} \right]}$$

Con ayuda de la tabla 6 - 8 por el método de tanteos
 obtenemos que para 2200°C con un ducto de 8 pies --

(2438 mm.) de longitud y 9 x 9 pulg. (229 x 229 mm.) de tamaño del puerto, se pueden desalojar 14.74 pies³ /segundo de gases calientes.

$$\left[\begin{array}{l} \text{Número de} \\ \text{Ductos} \end{array} \right] = \frac{226}{14.74} = 15.34 \approx 16 \text{ ductos}$$

Ahora 16 ductos de las dimensiones mencionadas anteriores son capaces de manejar:

$$\left[\begin{array}{l} \text{Gasto} \\ \text{Máximo de} \\ \text{Gases} \\ \text{Calientes} \end{array} \right] = 16 \times 14.74 = 235.8 \frac{\text{pies}^3}{\text{seg.}}$$

Como se aprecia, este gasto es mayor al requerido y así se está dentro de las recomendaciones de sobredimensionamiento en los ductos de desalojo de humos.

Pero demasiado justo, mejor utilizar 20 ductos de tal forma que:

$$\left[\begin{array}{l} \text{gasto} \\ \text{máximo} \\ \text{de gases} \\ \text{calientes} \end{array} \right] = 20 \times 14.74 = 294.8 \frac{\text{Pies}^3}{\text{seg.}}$$

Con un sobredimensionamiento de:

$$\frac{294.8}{235.8} - 1 \times 100 = 25.02 \%$$

Valor razonable de sobredimensionamiento.

7. SISTEMA DE REGULACION DE TEMPERATURA.

El control del proceso, no sólo involucra el calor que entra o sale del proceso, sino la regulación de otras variables que estén interrelacionadas como la presión y el flujo.

Antes que el control pueda ser establecido, la variable - primero deberá ser detectada por medio de un dispositivo que responda a los cambios en el valor o la cantidad de la variable. Esta cantidad, o este cambio, deberá ahora ser registrada o indicada antes de ser controlada. A continuación de la acción del control, el último paso en la secuencia es la transmisión de la señal controlada hacia el elemento final de control. El elemento final recibe la señal del controlador y produce los cambios correctivos en el proceso. El tipo y número de elementos finales de control están dictaminados por el proceso a ser -- controlado. La instrumentación se requiere en todos estos pasos.

Entre las numerosas variables que se pueden identificar - en un proceso de calentamiento, cuatro son las de mayor - importancia; temperatura, presión, flujo y atmósfera del horno. Los sensores de temperatura incluyen termopares, sistemas termales, detectores bimetalicos y pirómetros -

por radiación. Los instrumentos sensores de presión incluyen barómetros de columna líquida, manómetros, tubos de burdón, diafragma y fuelle resorte. Los instrumentos para la medición de flujo pueden tener cualquiera de los siguientes tres principios: desplazamiento positivo, presión diferencial y área limitante. La medición de la atmósfera del horno, además de involucrar las variables anteriores de flujo, temperatura y presión, también introducen el problema de la composición de la atmósfera. Los sensores en esta categoría incluyen analizadores infrarojos, instrumentos para la medición del punto de rocío, el analizador Orsat y la cromatografía de gases.

El sistema de regulación de temperatura debe ser capaz de mantener la temperatura en el valor que sea seleccionado como punto de control. En el caso de que exista una desviación de este valor, el sistema tiene que hacer automáticamente las correcciones que sean pertinentes y con una velocidad de respuesta tal, que el proceso de calentamiento sea constante y no tenga fluctuaciones. Al hablar de una rápida respuesta del sistema, debe aparecer en el registrador una curva similar a la que aparece en la figura 7 - 1. Cuando las condiciones sean las más adversas, o sea el horno frío y también la carga.

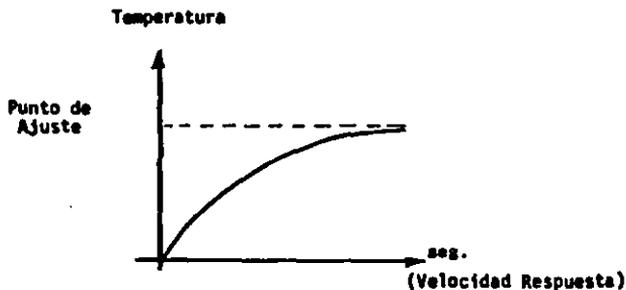


Fig. 7 - 1

El sistema de regulación de temperatura es del tipo proporcional, lo cual indica que a una mayor demanda de calor, mayor diferencia de temperatura entre el punto de ajuste y la lectura del termopar, mayor será también la corrección que se llevará a cabo por el elemento final de control, tal y como se ve en la figura anterior.

7.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA.

Como recomendación, conviene hacer referencia con los planos del sistema de combustión y diagrama eléctrico. Ya que la operación del sistema de regulación de temperatura es conjunta a los primeros sistemas.

7.1.1 SISTEMA DE COMBUSTION.

Es de vital importancia conocer el porque de cada uno de los componentes del sistema de combustión y su función.

El horno cuenta con sistema de calefacción a gas natural.

El sistema de combustión esta dividido en 2 (dos) zonas de regulación de temperatura. En las paredes laterales del horno se hayan dispuestos los quemadores, cuatro por cada zona de regulación. Los quemadores son el tipo de exceso de aire, mezcla en la boquilla, con válvulas de regulación individuales para el gas natural y el aire de combustión. Cada zona de regulación cuenta con su propio ventilador para el suministro de aire de combustión.

El gas natural se alimenta en un sólo punto - al horno. El cabezal de alimentación de gas natural cuenta con válvula macho para el corte general de gas, regulador principal, electróválvula de seguridad de cierre Hermético y armado manual e interruptores eléctricos - para detección de alta y baja presión de gas.

La válvula motorizada de aire está bajo el mando del pirómetro regulador de temperatura en la zona. Esta válvula obedece las señales de demanda o corte de calor liberado dentro del horno, es en sí, el elemento final del control.

7.1.2 SISTEMA DE SEGURIDAD.

El sistema de seguridad, funciona mediante interruptores de presión de aire y gas, así como de la electroválvula de seguridad, el horno se apagará totalmente en caso de que se presente una o varias de las siguientes condiciones.

- A) Falla de corriente eléctrica.
- B) Falla de presión de aire de combustión.
- C) Alta presión en el cabezal de gas.
- D) Baja presión en el cabezal de gas.
- E) Temperatura excesiva en cualquiera de las dos zonas del horno.

7.2 SISTEMA DE REGULACION DE TEMPERATURA.

La temperatura en cada zona de regulación se mantendrá automáticamente mediante el pirómetro regulador que tiene el mando sobre el sistema de combustión de

la zona. El pirómetro es del tipo indicador, electrónico, y de control proporcional.

En el tablero de control se dispone de un graficador múltipunto que registrará los valores de temperatura en seis puntos del horno. Dos de los puntos de registro corresponden a termopares situados junto a -- los otros termopares que actúan a los pirómetros reguladores de temperatura. Otros dos puntos corresponden a temperatura en la bóveda del horno.

El sistema de regulación de temperatura incluye también dos pirómetros de límite alto. Estos pirómetros, también electrónicos indicadores, tienen como función el apagar totalmente el horno en caso de que el valor de la temperatura sobrepase el valor preestablecido.

La actuación de los pirómetros es con termopares del tipo "R" (platino-platino 10% rodio) con tubo protector de cerámica.

7.3 OPERACION DEL SISTEMA DE SEGURIDAD.

Los dos sistemas de combustión del horno se apagarán cuando se presenten una o varias de las condiciones siguientes:

Al apagarse el horno por cualquier causa siempre - -

sonora y se encenderá la alarma visual.

La alarma sonora puede acallarse oprimiendo el botón (BC-5) pero la luz piloto (LP-4) permanecerá encendida mientras exista la condición anormal.

Estas condiciones de anomalía, son las que se enlistan a continuación:

- A) Baja presión de aire de combustión en cualquiera de las zonas.
- B) Baja presión de gas.
- C) Alta presión de gas.
- D) Falla de corriente eléctrica.
- E) Temperatura excesiva en cualquiera de las dos zonas del horno.

Si el horno se apaga por las causas anteriores se deberá proceder a restablecer la condición normal antes de intentar volver a encender el horno.

7.3.1 SISTEMA DE ENCENDIDO EN CONDICIONES DE SEGURIDAD.

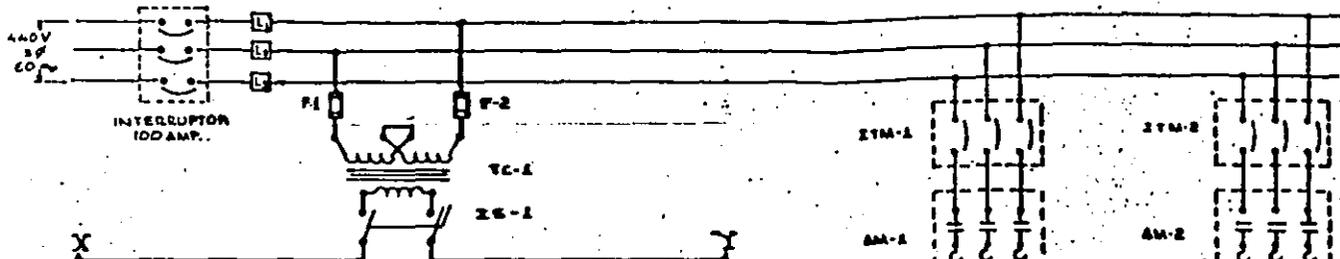
Para poder encender el horno, ya sea al iniciar el calentamiento o después de que se haya apagado por cualquiera de las condiciones mencionadas anteriormente, será necesario que las válvulas de alimentación de gas a la zona,

a los pilotos y a cada quemador estén en la posición de cerrados. Estas válvulas son - del tipo macho supervisados (FM). Este tipo de válvula tiene un conducto o vía que comunica un extremo con otro sólo en la posición de cerrado. Cuando la válvula esté en la posición abierta, este conducto se interrumpe. Los conductores de supervisión de las válvulas se conectan en serie entre sí mediante tubería de diámetro pequeño y se alimenta -- una pequeña cantidad de aire de combustión a través de esta red. Cuando todas las válvulas están cerradas, la presión de aire puede transmitirse a través de todas las válvulas lo que se aprovecha para actuar un interruptor por presión. Este interruptor está conectado eléctricamente con la bobina de la electroválvula de seguridad, y sólo cuando está cerrado el interruptor por presión, se puede abrir la válvula de gas. Cuando se abre esta válvula de seguridad un contacto eléctrico en la misma válvula sustituye la acción del interruptor por presión.

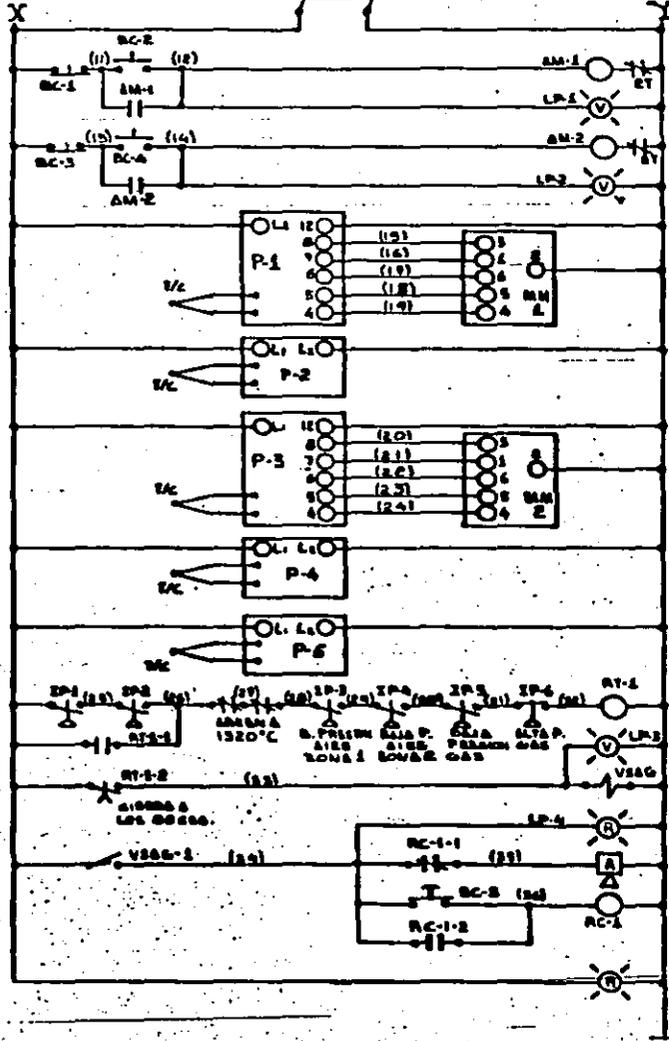
La válvula del cabezal de gas queda abierta y ahora se puede abrir las válvulas macho supervisado (FM) a los pilotos y quemadores.

Si bien, este sistema obliga a que, cuando se quiera encender el horno, las válvulas de alimentación de gas a quemadores y pilotos deben estar cerrados. Siempre se deberán de encender primero los pilotos y asegurarse que todos estén encendidos antes de abrir la válvula de alimentación de cada quemador para su encendido.

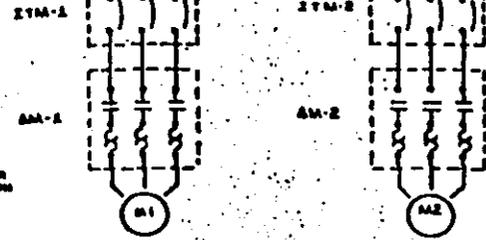
No se puede dejar de enfatizar la condición anterior. No hay sistema de encendido ciento por ciento seguro y el sistema con que cuenta este horno proporciona ciertas condiciones de seguridad para el encendido, pero siempre deberá seguir la secuencia correcta del encendido de quemadores.



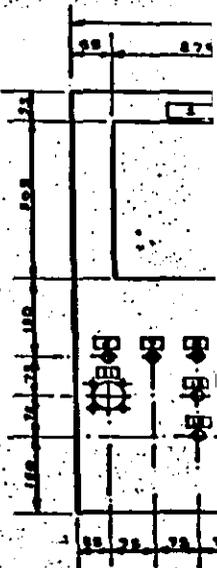
- 4
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10
- 11
- 12
- 13
- 14
- 15
- 16
- 17
- 18
- 19
- 20
- 21
- 22
- 23
- 24



- VENTILADOR COMBUSTION ZONA 1
- VENTILADOR COMBUSTION ZONA 2
- CONTROL DE TEMPERATURA ZONA 1
- CONTROL SOBRE TEMPERATURA ZONA 1
- CONTROL DE TEMPERATURA ZONA 2
- CONTROL SOBRE TEMPERATURA ZONA 2
- REGISTRADOR TEMPERATURA
- CIRCUITO DE SEGURIDAD 18,19
- VALVULA PRINCIPAL ALIMENTACION GAS 21
- ALARMA VISUAL
- ALARMA SONORA 21, 22
- BURBUJAS ENCUENTROS



PANEL DEMONTAJE

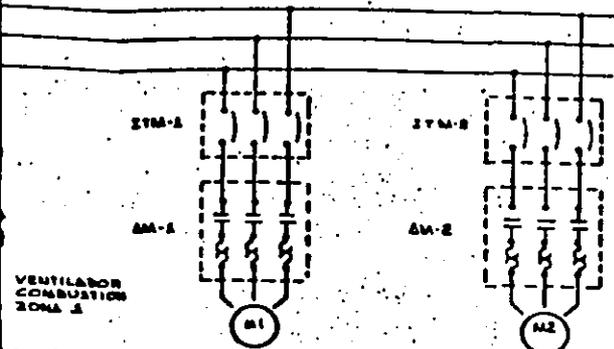


NOTAS

- 1- EL CABLE X DEBE SER CABLE NARANJA CALIBRE N. 14
- 2- EL CABLE Y DEBE SER CABLE NEGRO CALIBRE N. 14
- 3- TODOS LOS BOMAS CABLES DEBEAN SER CABLE SOLO CAL. N. 14.
- 4- LOS NUMEROS MARCADOS ENTRE -- PARENTESIS VAN A TABULA 2.

- + INDICA CONEXION
- + INDICA NO CONEXION

LEY	
1	REGISTRADO
2	CONTROL T
3	CONTROL T
4	CONTROL S
5	CONTROL S
6	CIRCUITO
7	VALVULA ALI
8	VENTILADO
9	VENTILADO
10	FALLA DE
11	DESCONC
12	ARANCAR
13	ARANCAR
14	SILENCIAD
15	PARAR
16	PARAR



VENTILADOR
COMBUSTION
ZONA 1

VENTILADOR
COMBUSTION
ZONA 2

CONTROL DE
TEMPERATURA
ZONA 1

CONTROL SOBRE
TEMPERATURA
ZONA 1

CONTROL DE
TEMPERATURA
ZONA 2

CONTROL SOBRE
TEMPERATURA
ZONA 2

REGISTRADOR
TEMPERATURA

CIRCUITO DE
SEGURIDAD

VALVULA PRINCIPAL
ALIMENTACION
GAS

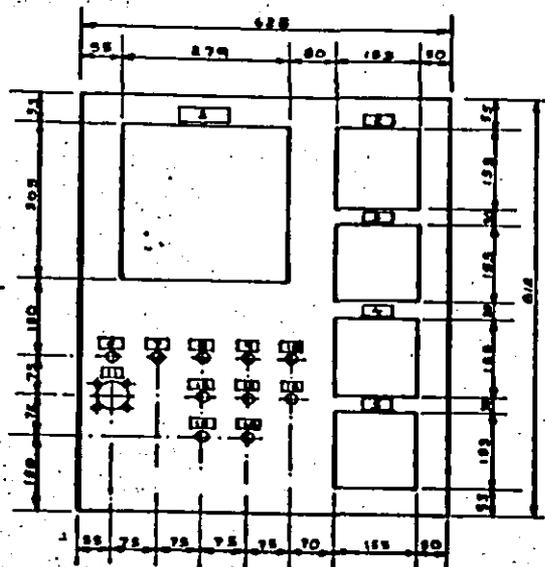
ALARMA VISUAL

ALARMA SONORA

21. 23

PUNTERAS
ENCENDIDAS

PANEL DE MONTAJE



LEYENDAS

1	REGISTRADOR DE TEMPERATURA
2	CONTROL TEMPERATURA ZONA 1
3	CONTROL TEMPERATURA ZONA 2
4	CONTROL SOBRE TEMPERATURA ZONA 1
5	CONTROL SOBRE TEMPERATURA ZONA 2
6	CIRCUITO DE CONTROL ENERGIZADO
7	VALVULA ALIMENTACION DE GAS
8	VENTILADOR COMBUSTION ZONA 1
9	VENTILADOR COMBUSTION ZONA 2
10	FALLA DE COMBUSTION
11	DECONNECTAR CONECTAR
12	ARRANCAR
13	ARRANCAR
14	SILENCIADOR ALARMA
15	PARAR
16	PARAR

NOTAS

- 1- EL CABLE X DEBE SER COLOR NEGRO
- 2- EL CABLE Y DEBE SER COLOR BLANCO
- 3- TAMBEN LOS DEMAS CABLES DEBEAN SER COLOR NEGRO CAL. N. 18.
- 4- LOS NUMEROS MARCADOS ENTEROS -- PARANTESIS VAN A TABUCLA

+ INDICA CONEXION

+ INDICA NR CONEXION

PAN	CAN	DESCRIPCION
ITU	2	INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO
1-2		MARCA SIEMENS 40AMP. 440 VOLT. CAPACIDAD INTERRUPTIVA
Fig. 2		UNIDAD DE FUENTES DIARRAS MCA. SISTEMA CON BASE REGULABLE TIPO ARRABO. ANILLO PROTCTOR Y TAPA ROSCADA
TC-1	1	TRANSFORMADOR DE CONTROL 220 VED. N. 440/110 VOLTS
IS-1	1	INTERRUPTOR TIPO TAMBOR 2 POLOS
AM-1	2	ARRANCADOR MAGNETICO A FLAMA TENSION MCA. SIGNATA TIPO KEMIL-24/60/11-1 CAT 203066 203100 110V- 60% PARR MOTOR DE 10 HP
OC-1	4	INTERRUPTOR DE BOTON MCA. SERIE E-34 CLASS 400 TIPO E-34
OC-2	1	INTERRUPTOR DE CONTROL TIPO MCA. SERIE E-34 CLASS 400 TIPO E-34 400V 2000
LE-1	4	LAMP PUNTO JAMAT MARCA VERDE 4. LAMPAR
LP-1	1	LAMP PUNTO JAMAT MOD 240 CLASS 2010
RT-1	1	RELEVADOR DE TIEMPO MCA. DCL 5 MOD. 50- 610 110V. 60% CON BOTON ALARMAS Y CONTACTO INSTANTANEO 0.3 A 100 200
A	1	ALARMA TIPO CASNETA
EC-1		RELEVADOR DE CONTROL MCA. TMB. MECANIQUE MOD. CAL-34-101. 4
EP-1	5	INTERRUPTOR DE PRESION MCA. DUYER MOD. 1812-20
IP-1	1	INTERRUPTOR DE PRESION DUYER 1812-20
PI-1	2	PIROMETRO TILATED. HONEYWELL. CONTROLADORES INDICADOS DE TEM. 550- 1150°C. TIPO B. MODELO -- B-231-C-1541
PI-2	2	PIROMETRO TILATED. HONEYWELL. CONTROLADORES INDICADOS DE TEM. 550- 1150°C. TIPO B. MODELO -- B-231-A-1028
MM-1	2	MOTOR MODULANTE HONEYWELL -- MOD. 240 A 1080
DS-1	1	REGISTRADOR DE TEMPERATURA LEADO A HONEYWELL MOD. R12-111-200- 20 000. 4-PP-2- 0011111 20000- 141 W MOD. 2. CIRCUITO AUTOMATICO TIPO BANDA 250- 1150°C. 20000. TIPO TIPO 2. 20000. 20000. VELOCIDAD DE LA CORRIENTE 20000/100 PROTECCION SECCION DATA CONTRA FALLA TEMPORA
T/C	6	TERMOPAR TIPO B 24 PULS. 20 LONG. CON PROTECCION CERAMICA
MI-2	2	MOTOR 10 HP. 22000S 220/440V 60 00

UNIVERSIDAD LA SALLE

tesis profesional

ESCALA SIN	diagrama electrico de control	DRUJO J.C.C.A.
ACOTADO M/M		REVISO J.C.C.A.
FECHA DIC-86	HORNO DE FORJA	PLANO A-03

8. COSTO DEL PROYECTO

Para la estimación del costo del proyecto es necesario - desglosar de la mejor manera posible todos y cada uno de los conceptos que involucran un gasto tales como los cos tos de materiales, mano de obra, ingeniería y algunos -- otros gastos indirectos de la fabricación del horno.

Con el fin de definir en que forma se debe de disponer - del presupuesto, se ha dividido el desglose en varios gru pos que son:

8.1 CARCAZA METALICA.

8.2 AISLANTES Y REFRACTARIOS.

8.3 SISTEMA DE COMBUSTION.

8.4 SISTEMA DE REGULACION DE TEMPERATURA.

8.5 INGENIERIA Y MANO DE OBRA.

Los precios que aquí aparecen son al mes de octubre de - 1986 para materiales y en la mano de obra se utilizan los salarios mínimos profesionales que rigen a la fecha, se - hace mención al respecto, ya que para efectos de evalua-- ción del costo del proyecto es conveniente tomar en consi-- deración cuando se efectúa dicha evaluación pues dentro -

de los materiales que se han seleccionado, existen algunos de fabricación extranjera y en ocasiones su costo es elevado así como su tiempo de entrega.

8.1 CARCAZA METALICA.

Con la ayuda de los esquemas y planos de ensamble general se obtiene la cantidad de acero plano como de acero estructural.

5352 Kg.	Placa de acero dulce.	\$ 2'622,480.00
8414 Kg.	Acero estructural.	2'448,474.00
850 Kg.	Soldadura para arco eléctrico.	552,500.00
		<hr/>
		\$ 5'623,454.00

8.2 AISLANTES Y REFRACTARIOS.

Auxiliándose con los manuales del proveedor de refractarios "A.P. Green" se calcula el volumen de concreto refractario y la cantidad de ladrillos aislantes así como mortero refractario, utilizando para unir un ladrillo con otro.

19 000	Kg.	Concreto refractario	\$ 4'518,580.00
6 000	Kg.	Ladrillos aislantes y en clas de concreto.	\$ 3'221,800.00
400	Kg.	Mortero refractario.	\$ 93,480.00
8	Kg.	Rollos de fibra cerámica	
	96. kg m ³	(6 1/3 pie ³)	\$ 603,800.00
T O T A L			\$ 8'437,660.00

0.3 SISTEMA DE COMBUSTION.

Con los datos obtenidos en el capítulo cinco tenemos que:

<u>CANT.</u>	<u>DESCRIPCION</u>	<u>PRECIO</u>
1) 8	Quemadores marca Eclipse Mod. 128 NH.	\$ 2,800,000.00
2) 10	Válvulas de mariposa marca Eclipse Mo.116-BV.	\$ 633,000.00
3) 8	Orificios de medición marca North American Mod. 8697 4-2400.	\$ 926,512.00
4) 8	Válvulas de orificio limitante marca North American Mod. 1807-5.	\$ 664,320.00
5) 2	Reguladores de relación marca North American Mod. 7218-7.	\$ 1'847,160.00
6) 2	Ventiladores marca Eclipse Mod.SM 121217-10	\$ 2'560,000.00
7) 1	Válvula de seguridad marca Eclipse Mod. 210 LT - 1F-3.	\$ 850,000.00
8) 11	Válvulas macho lubricada.	\$ 1'650,000.00
9) 1	Regulador de presión marca Fisher Serie 200	\$ 600,000.00
10) 6	Interruptores de presión marca Dyer Mod. 1823-20.	\$ 500,814.00
11) 10	Mezclador marca Eclipse Mod. 131 PM.	\$ 746,650.00
T O T A L		\$ 13'778,514.00

8.4 SISTEMA DE REGULACION DE TEMPERATURA.

Descrito en el Capitulo seis y con ayuda del diagrama eléctrico se hace esta relación:

<u>CANT.</u>	<u>DESCRIPCION</u>	<u>PRECIO</u>
	Equipo Eléctrico en General (Arrancadores, interruptores luces piloto, etc).	\$ 1'069,560.00
4	Pirómetros indicadores de temperatura.	\$ 3'080,000.00
2	Motores modulantes.	\$ 800,000.00
1	Registrador de temperatura.	\$ 1'750,000.00
6	Termopares.	\$ 350,000.00
2	Motores eléctricos.	\$ 1'150,000.00
TOTAL		\$ 8'199,960.00

8.5 INGENIERIA Y MANO DE OBRA.

La ingeniería y mano de obra son dos aspectos muy importantes que intervienen en el costo del proyecto siendo además puntos que se deben estimar.

8.5.1 MANO DE OBRA.

Consultando con gente especialista en cada uno de los trabajos que se requieren para la fabricación del horno, se efectúa un resumen de costos por horas de trabajo para cada actividad a realizar:

<u>ACTIVIDAD</u>	<u>HORAS DE TRABAJO</u>
Acero Estructural (Carcaza)	2,160
Refractario	3,900
Equipo Mecánico	525
Tuberías	90
Equipo Eléctrico	150
Equipo de Combustión	786
Tablero de Control	493
Pintura	136
Preparación y Embarque	20
Arranque y Pruebas	700
	<hr/>
Total de Horas estimadas.	8,330

Este total de horas de trabajo repartidas entre un número de personas que intervienen en la construcción del horno nos da un tiempo aproximado de fabricación entre 5 y 6 meses.

Únicamente con el objeto de obtener el costo aproximado de mano de obra, se multiplica el total de horas por el precio por hora que, en este caso, será un poco mayor al salario mínimo diario a la fecha, cubriendo así el valor de la gente más capacitada en donde así se requiere.

$$\left[\begin{array}{l} \text{Costo} \\ \text{Mano} \\ \text{Obra} \end{array} \right] = (8330 \text{Hr.}) \left(400 \frac{\text{pesos}}{\text{hr.}} \right)$$

$$\left[\begin{array}{l} \text{Costo} \\ \text{Mano} \\ \text{Obra} \end{array} \right] = 3'332,000.00 \text{ Pesos M.N.}$$

8.5.2 COSTO POR INGENIERIA.

Ahora el costo por la ingeniería del proyecto se considera de la siguiente forma:

Una forma bastante tradicional y acertada para calcular el costo por la ingeniería es como un porcentaje del costo del proyecto, mismo que se aplicará como un 7% de tal manera que el resumen de costos será:

Carcaza Metálica.	\$ 5'623,454.00
Aislantes y Refractarios.	\$ 8'437,660.00
Sistema de Combustión.	\$ 13'778,514.00
Sistema de Regulación de Temperatura.	\$ 8,199,960.00
Mano de Obra.	\$ 3'332,000.00
	<hr/>
COSTO DEL PROYECTO	\$ 39'371,588.00
COSTO DE INGENIERIA	\$ 2'756,011.00
COSTO TOTAL DEL PROYECTO	\$ 42'127,599.00

Evidentemente el costo aquí calculado es - -
aproximado y es necesario tomar en cuenta la
continua escalación de los precios en el mer
cado, sobre todo cuando existen componentes -
de fabricación extranjera.

9.- CONCLUSIONES.

El estudio de los problemas de fabricación de un horno como el proyectado conducirá a las siguientes conclusiones:

- 1º La construcción de este horno es muy factible y requerirá como factor indispensable mano de obra calificada y dirección acertada y calificada.
- 2º No será necesario contar con máquinas herramientas - precisas y de gran capacidad, de hecho el equipo para la construcción se reduce a herramientas de mano, taladro de pedestal, soldadura de arco, equipos de corte oxi-acetileno, gato de escalera, etc.
- 3º La mano de obra deberá ser calificada pues se requiere la construcción precisa y cuidadosa en cuatro áreas fundamentales.

La estructura metálica en la que los diversos componentes deberán trazarse, cortarse y colocarse en forma bastante precisa para después unirse entre sí mediante soldadura de arco para construir en forma final una estructura muy rígida y robusta capaz de resistir las muy importantes - cargas que resultarán de la expansión de los materiales -

refractorios cuando se encuentren sujetos a la alta -- temperatura.

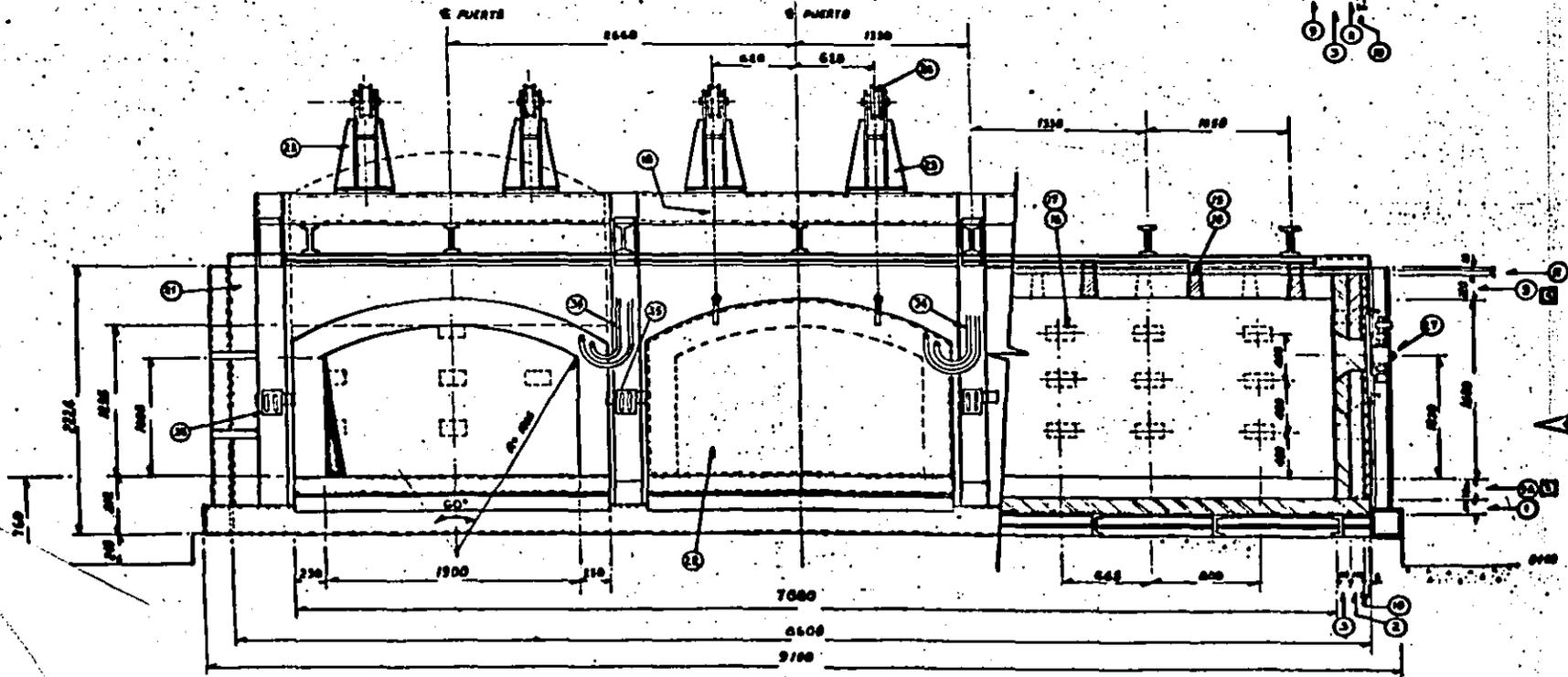
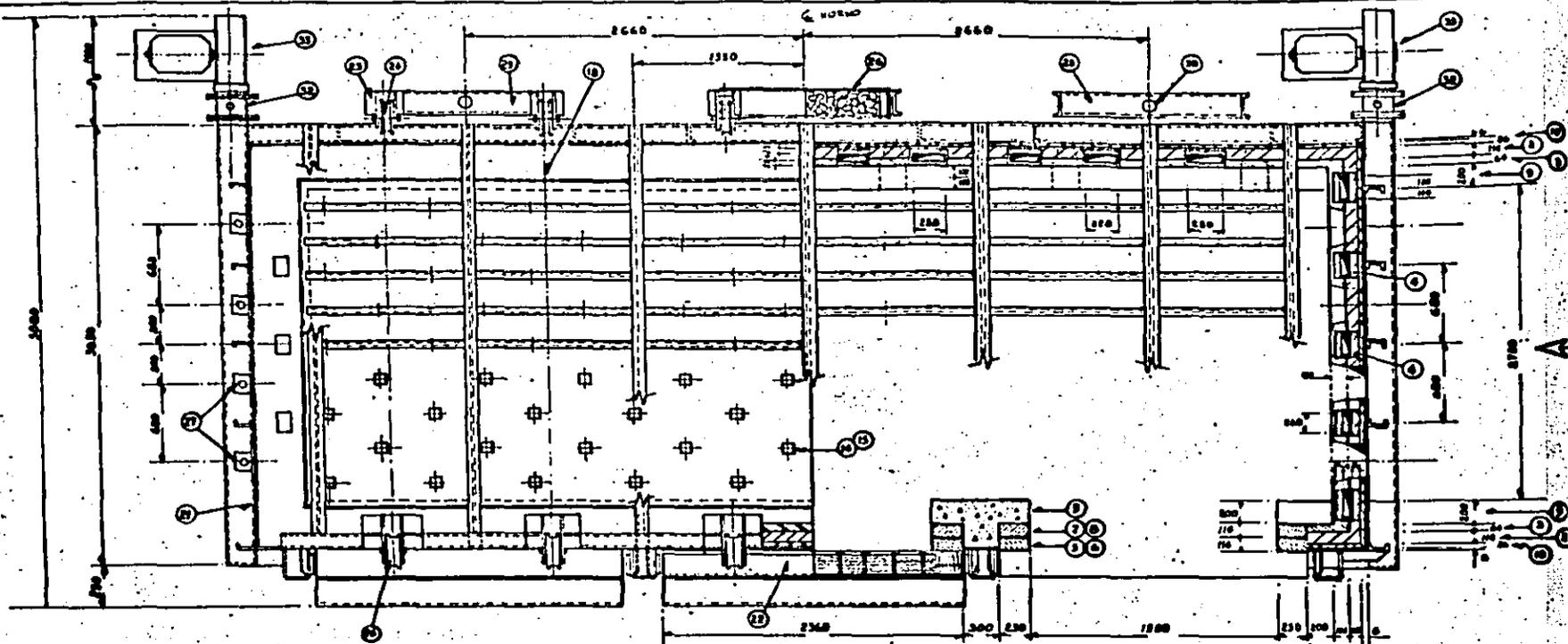
Tanto del trazo y corte de placas y elementos estructurales de acero se deberán hacer en forma limpia y - cuidadosa. Posteriormente al unirse los elementos se deberá tener particular cuidado en que la soldadura - se haga con buena penetración y en la secuencia necesaria para evitar distorsiones y esfuerzos residuales.

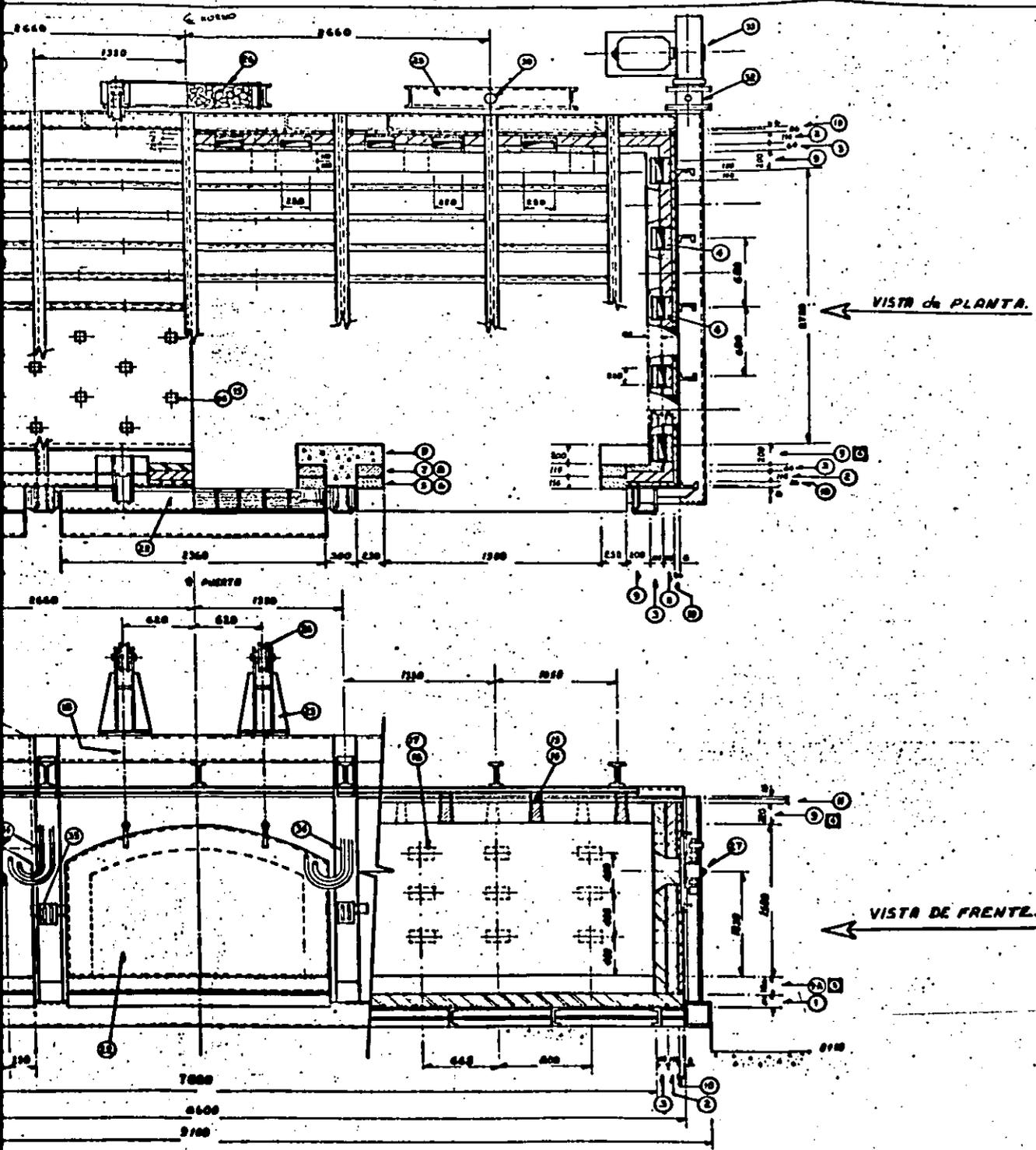
Toda la construcción de la tubería del sistema de com bustión se deberá hacer con gran cuidado porque la -- conducción de gas natural es siempre peligrosa y se - deberá verificar la inexistencia de fugas de tal forma que ni a la terminación de la construcción del hor no ni tampoco durante la vida útil del mismo se pre-- senten. Desde luego el empleo de mano de obra calificada además de la buena práctica de construcción es - una necesidad insoslayable.

Para la instalación de los componentes eléctricos del horno será necesario contar con mano de obra especializada y que sea capaz de interpretar planos, llevar a cabo y verificar que las conexiones eléctricas y enclavamientos entre los componentes se ejecuten según el - proyecto para su montaje final.

Los comentarios anteriores así como el desarrollo del proyecto del horno permiten considerar como factible -

la construcción en México de hornos como el objeto de este proyecto y muchos tipos más. No sería prudente aseverar que se pueden construir en México todo tipo de hornos industriales cuya variedad es muy amplia, y en ciertos casos no se dispone de la tecnología completa para su proyecto, pero la disponibilidad de materiales y equipos, mano de obra y tecnología sí permite la construcción de muchos equipos a precios y calidades muy comparables con los equipos fabricados en el extranjero, con el consiguiente ahorro de divisas y además, permitirá el desarrollo de esta industria en México.





VISTA de PLANTA.

VISTA DE FRENTE.

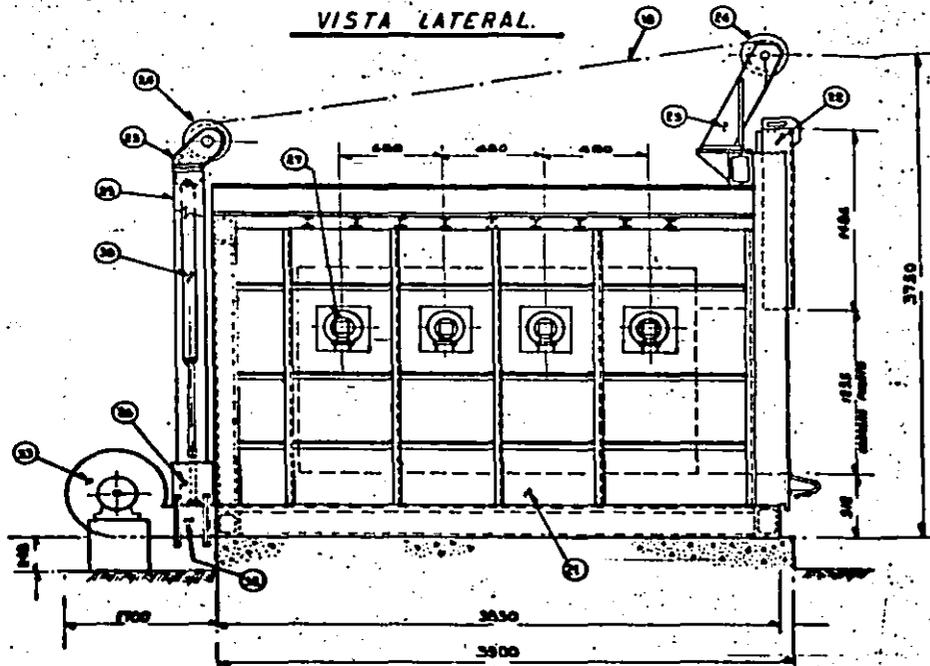
PART	CANT	DESCRIPCION.	PESO.
1	2400	LADRILLO REFRACTARIO COMUE RECTO DE 2 1/2" x 4 1/2" x 2" DE 0.6 CALOR	
4	375	LADRILLO REFRACTARIO 45 M. MEDIO DE 2 1/2" x 4 1/2" x 2"	
5	25	LADRILLO REFRACTARIO COMUE DOBLE PUNTA #1	
6	225	LADRILLO REFRACTARIO ED DOBLE PUNTA #2-3	
7	22	LADRILLO REFRACTARIO 45 M DOBLE PUNTA #1	
8	225	LADRILLO REFRACTARIO 45 M DOBLE PUNTA #2-3	
9	25.5	TUBOS. CONCRETO REFRACTARIO MISMO DE 1/2" DE 0.6 CALOR	
10	180	ASISTENTE SUPERIOR DE 1" x 2" x 1.50"	
11	400	ASISTENTE ORDINARIO DE 1/2" x 1.50"	
12	7500	M.C.S. MORTERO SANGRE.	
13	80	PAVILLO CONCRETO CEMENTADO DE 1" x 2 1/2" x 3.00" DE 0.6 CALOR	
14	80	ANCLAS REFRACT. 200-3 CALOR 02-M.	
15	20	ASORTE DE 1/2" PARA BUELA 20-M	
16	60	ANCLAS REFRACT. 200-3 CALOR 02-M.	
17	60	CLIPS PARA 200 BUELA 200-3	
18	6	CANALAS DE ESTIMACION 1/2" x 1.50"	
19			
20	1	ENCABALLO BARR. LATERALES Y ESPALDO. PLANO # 21-708	
21	1	CONCRETO CEMENTADO	
22	1	ENCABALLO PUERTA	
23	10	SOPORTE DE PUERTA.	
24	10	PUERTAS.	
25	3	SOPORTE CILINDRO.	
26	3	CONTRA JELO	
27	8	QUEMBRONES	
28	1	ARMADURA ELECTRICAS	
29	1	TABLADO DE CORTINAS.	
30	3	CHIMNEO	
31	1	ENCABALLO PUERTA.	
32	6	PUERTAS DE 1/2" x 1.50"	
33	2	VENTANAS	

UNIVERSIDAD LA SALLE

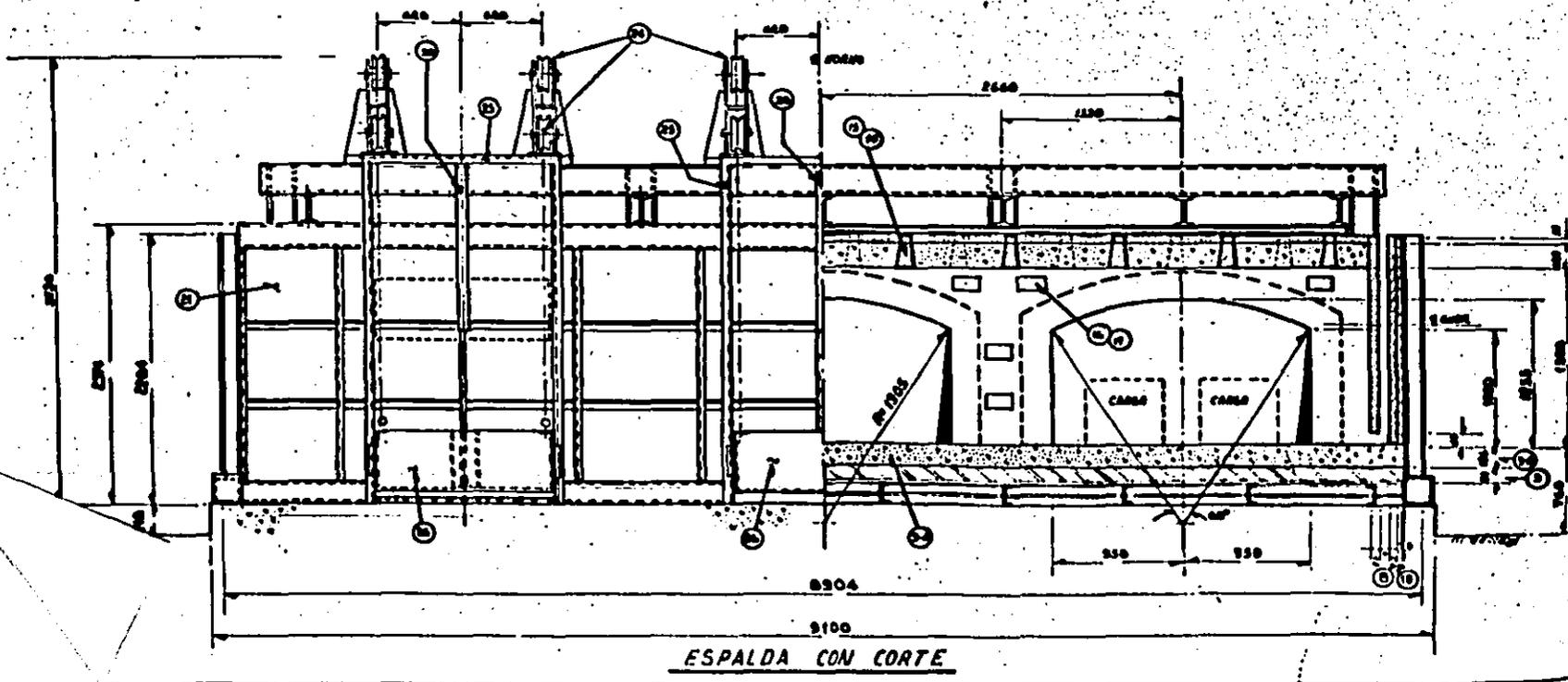
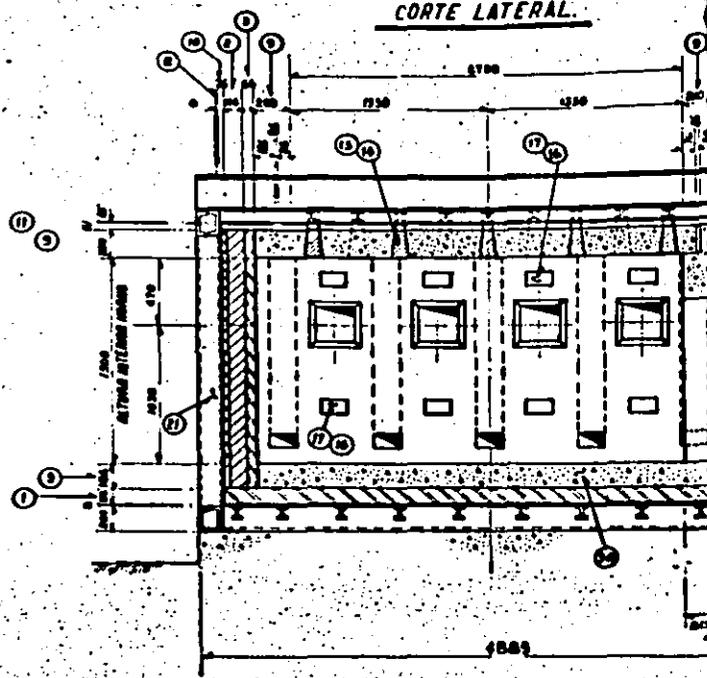
TESIS PROFESIONAL

FECHA	ENCABALLO GENERAL	REVISOR
1/10	ENCABALLO GENERAL	REVISOR
ACOSTADO	VISTA FRONTAL Y PLANTA	REVISOR
MM	LOTTOS	REVISOR
FECHA	HORNO DE PASTA	PLANO
1/10		L.-D.M.

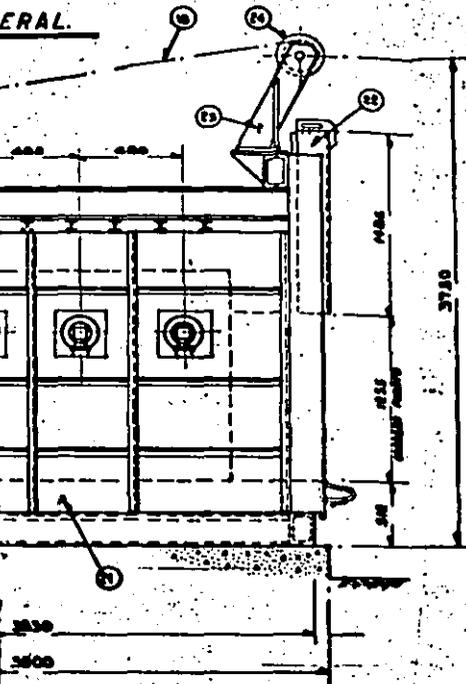
VISTA LATERAL.



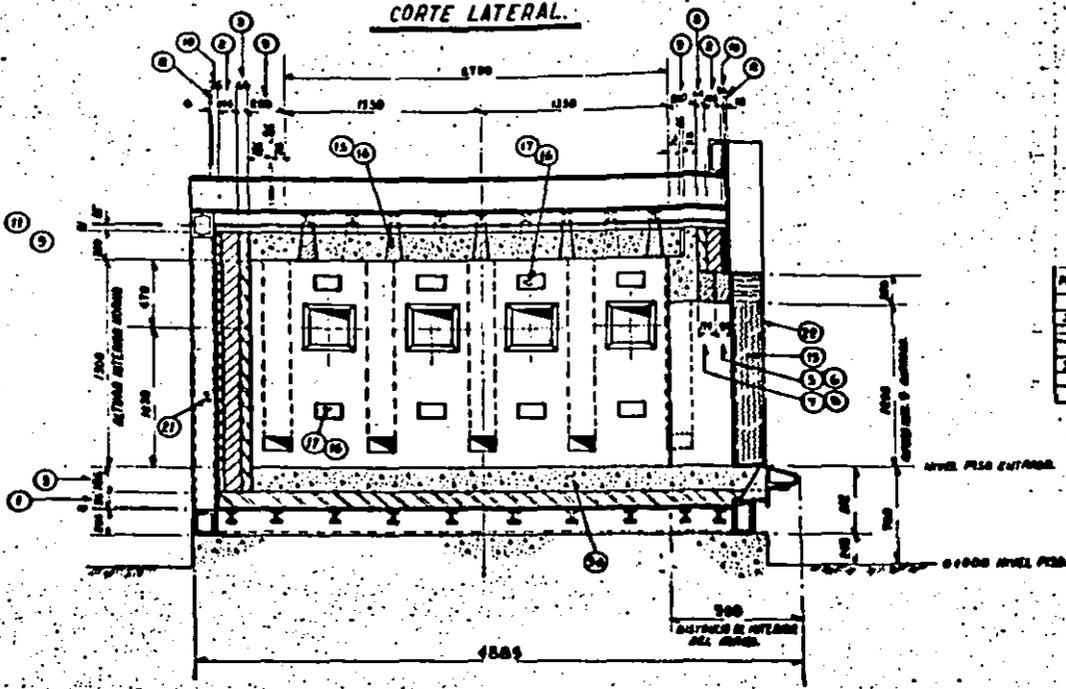
CORTE LATERAL.



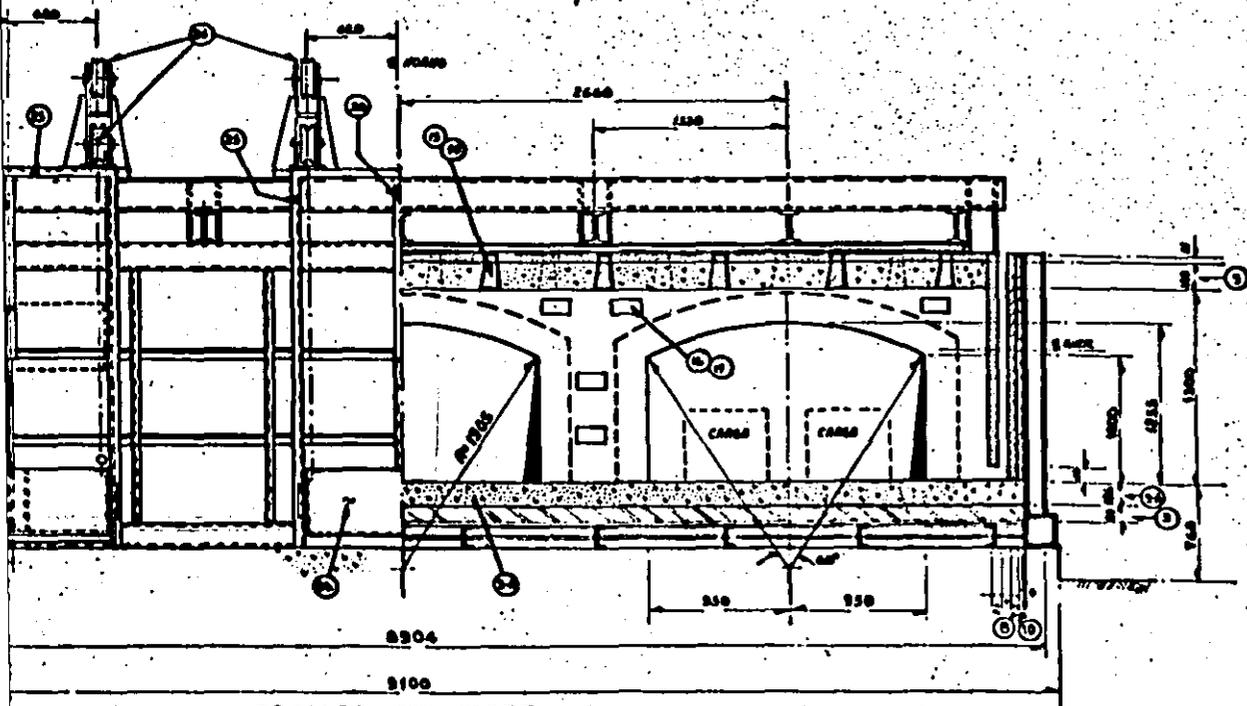
ERAL.



CORTE LATERAL.



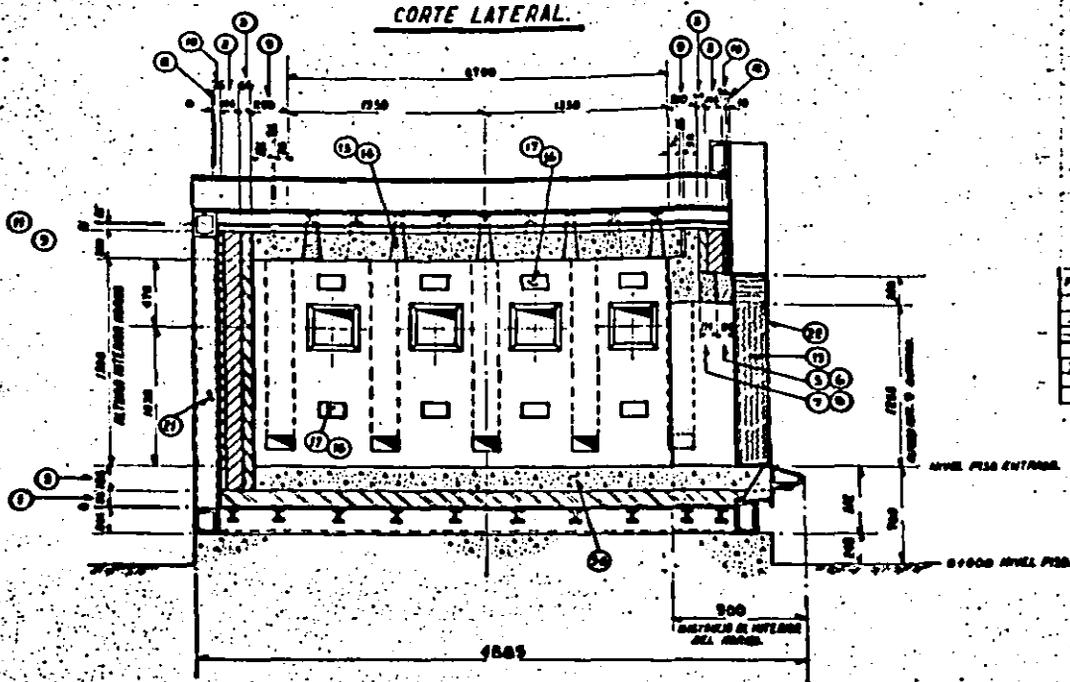
POST	CANT	DESCRIPCION
20		MANEJERS DE MULA 1-0
25	1	PIEDS. OPORTE. DE PUERTO S.D.



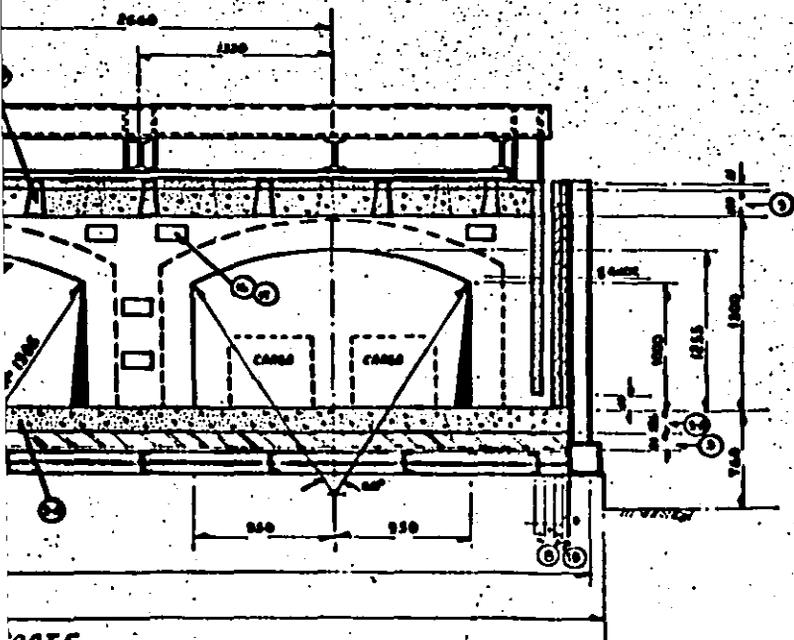
ESPALDA CON CORTE

UNIVERSIDAD LA SALLE	
tesis profesional	
ESCALA	ensamble general
1:50	(laterales, espaldas y cortes)
NOTADO	
FECHA	HORNO DE FORJA
DIC-86	

CORTE LATERAL.



POST. CONT.	DESCRIPCION	PRECIO
30	MANERA DE MULO 1"Ø	
30	PIED. APORTE DE PUERTA 3.Ø.	



UNIVERSIDAD LA SALLE		
tests profesional		
ESCALA 1:20	ensamble general --	8000
ACOTADO 10mm	laterales, espaldas --	1500
FECHA Dic-86	y cortes	2500
	HORNO DE FORJA	PLANO A-02

BIBLIOGRAFIA

- 1.- NORTH AMERICAN MFG. CO, NORTH AMERICAN COMBUSTION HANDBOOK, SECOND EDITION 1978, CLEVELAND OHIO, - U.S.A.
- 2.- AMERICAN SOCIETY FOR METALS, METALS HANDBOOK VOLUME 5 FORGING AND CASTING, 8th. EDITION, METALS PARK OHIO, U.S.A.
- 3.- AMERICAN SOCIETY FOR METALS, METALS HANDBOOK VOLUME 3, PROPERTIES AND SELECTION: STAINLESS STEES, TOOL MATERIAL AND SPECIAL PROPOSE METALS, 9th. -- EDITION, METALS PARK OHIO, U.S.A.
- 4.- AMERICAN SOCIETY FOR METALS, HEAT PROCESS TECHNOLOGY, HOME STUDY AND EXTENSION COURSES, LESSON 5 & LESSON 3, METALS ENGINEERING INSTITUTE, METALS - PARK OHIO, U.S.A.
- 5.- FIBERFRAX, FISRA CERAMICA, CARBORUNDUM, DATOS TECNICOS.
- 6.- A.P. GREEN, REFRACTARIOS, INFORMACION TECNICA.

- 7.- NORTH AMERICAN COMBUSTION MFG., MASTER TECHNICAL INFORMATION.
- 8.- ECLIPSE COMBUSTION DIVISION, ECLIPSE FUEL ENGINEERING COMPANY, TECHNICAL INFORMATION (MASTER - - ILLINOIS, U.S.A.
- 9.- GAS ENGINEERS HANDBOOK, FUEL GAS ENGINEERING. PRACTICES, FIRST EDITION - FIFTH PRINTING, 1977 INDUSTRIAL PRESS, NEW YORK, U.S.A.
- 10.- SUNBEAM EQUIPMENT CORPORATION, SEMINARIOS, INFORMACION TECNICA.
- 11.- CAN - ENG MANUFACTURING LIMITED, HEAT TREATING HANDBOOK, FIRST EDITION, NIAGARA FALLS, ONTARIO, CANADA.
- 12.- FISHER GOVERNOR COMPANY, FISHER CONTROLS SERIES S-200.
- 13.- CRANE CO., FLOW OF FLUIDS THROUGH VALVES, FITTINGS, AND PIPE, TECHNICAL PAPER No. 410, 1969, NEW YORK, N.Y., U.S.A.
- 14.- FUNDIDORA MONTERREY, MANUAL PARA CONSTRUCTORES - 1958, MONTERREY, N.L., MEXICO.