

T-UES
1503
A 284d
1992
E). 2

Universidad de El Salvador

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA



Trabajo de Graduación

"Diseño y Construcción de un Horno de
Cementación por Sales"

Presentado por:

AGUIRRE RECINOS, FELIX ENRIQUE
MONTERROSA VILLANUEVA, ARIEL A.
VASQUEZ MENDOZA, JOSE PEDRO



Previa Opción al Título de:

INGENIERO MECANICO

Abril, 1992

San Salvador,

El Salvador,

Centro América

Recibido junio 1992

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

DR. FABIO CASTILLO FIGUEROA
RECTOR

LIC. MIGUEL ANGEL AZUCENA
SECRETARIO GENERAL.

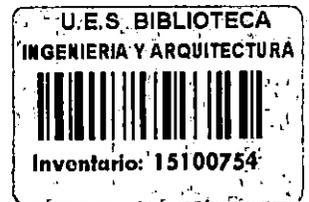
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ING. JUAN JESÚS SANCHEZ S.
DECANO

ING. JOSÉ ROBERTO MURILLO C
SECRETARIO

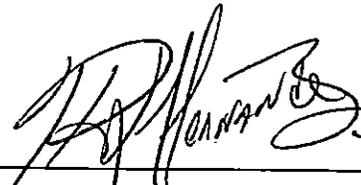
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

ING. ALVARO ANTONIO AGUILAR O.
DIRECTOR DE ESCUELA

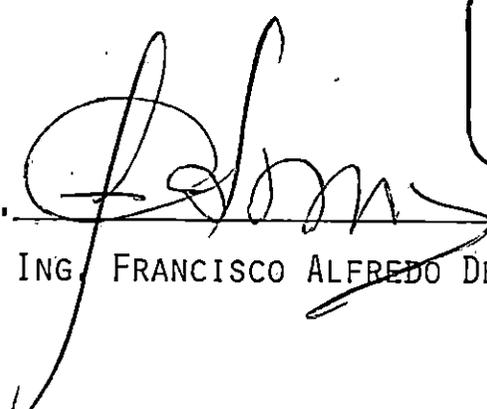


TRABAJO DE GRADUACIÓN:

COORDINADOR:

F. 
ING. RENÉ MAURICIO HERNÁNDEZ

ASESOR:

F. 
ING. FRANCISCO ALFREDO DELEON,

UNIVERSIDAD DE
EL SALVADOR
ESCUELA DE INGENIERIA
MECANICA
Facultad de Ingeniería
y Arquitectura

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO POR

AGUIRRE RECINOS, FÉLIX ENRIQUE

MONTERROSA VILLANUEVA, ARIEL A.

VASQUEZ MENDOZA, JOSÉ PEDRO

PREVIO A LA OPCIÓN

DEL TÍTULO DE:

INGENIERO MECANICO

DIDICATORIA

A DIOS TODOPODEROSO:

Por haberme iluminado durante todo mis años de estudios y darme voluntad y fuerza para concretizar mi meta.

A MI MADRE:

Con amor, respeto y admiración quien en todo momento me brindó comprensión y apoyo en el transcurso de mi carrera.

A MI FAMILIA Y AMIGOS:

Que en una u otra forma me brindaron su amistad y respeto.

A MIS COMPAÑERO DE ESTUDIO.

Por los sacrificios que hicieron posible la culminación de este triunfo y por haber contribuido a lograr mi meta.

A MIS COMPAÑEROS DE TRABAJO:

Por su confianza en mi y por el apoyo que siempre encontré en ellos.

A LOS INGENIEROS:

Mauricio Hernández y Alfredo Deleón.

FELIX ENRIQUE

DEDICATORIA

Ni una hoja de un árbol cae a tierra si no es la voluntad de Dios, el a permitido este logro en mi vida... ; Gracias señor!

Le doy gracias a mis padres por su ayuda, sin ellos no sería realidad este logro; en especial a mi Madre, su apoyo en todo sentido nunca me faltó.

A mis hermanos por su apoyo, les estoy muy agradecido especialmente a Omar y Juan, sólo Dios sabe lo que han hecho por mi.

Existen muchas personas que de una u otra forma han colaborado, primeramente a mis compañeros Félix y Pedro; los Ingenieros Mauricio Hernández y Francisco Deleón; la unidad productiva: Lic. Méndez, Sr. Martínez, Sr. Vásquez y también a Julio y Salvador; todos ellos aportaron una valiosa ayuda.

Finalmente a todos mis hermanos de la iglesia les doy gracias por todas sus oraciones.

ARIEL ARMANDO MONTERROSA V.

INDICE

	Pág N°
INTRODUCCION	i
OBJETIVOS	v
JUSTIFICACION DEL TRABAJO	vi
CAPITULO I	
1.0.0 TRATAMIENTOS TERMICOS	1
1.1.0 Clasificación de los tratamientos	1
1.1.1 Recocido	2
1.1.1.1 El Recocido de Homogenización	2
1.1.1.2 El Recocido de Regeneración	3
1.1.1.3 El Recocido contra Acritud	3
1.1.1.4 El Recocido de Estabilización	4
1.1.2 Temple	4
1.1.2.1 El Temple Martinsítico	6
1.1.2.2 El Temple de precipitación	6
1.1.3 El Revenido	6
1.1.3.1 Revenido Normal	7
1.1.3.2 Revenido de Endurecimiento	7
1.1.4 Factores en el desarrollo de un tratamiento térmico	8
1.2.0 Tratamientos Termoquímicos	9
1.2.1 Cementación	13
1.2.1.1 Superficial y buena tenacidad en el núcleo	14
1.2.1.2 Cementantes sólidos	15
1.2.1.3 Cementantes líquidos	16
1.2.1.4 Cementantes gaseosos	17

1.2.2	Ventajas e inconvenientes de los distintos cementantes	18
1.2.3	Tratamiento térmico de las piezas cementadas	19
1.2.4	Protecciones contra la Cementación	20
1.2.5	Cianuración	21
1.2.6	Nitruración	22
1.3.0	Difusión de los metales	23
1.3.1	Leyes fundamentales de la difusión y formalización de los procesos de tratamiento químico-térmico (TQT)	23

CAPITULO II

2.0.0	HORNOS	
2.1.0	Requisito de los Hornos para tratamiento térmico	28
2.2.0	Fraguas	30
2.3.0	Hornos de Cámara	30
2.4.0	Horno Semimufía	31
2.5.0	Horno de mufía (calentado por gas)	32
2.6.0	Horno de Mufía (resistencia eléctrica)	33
2.7.0	Hornos con doble cámara	34
2.8.0	Hornos para baño salino (calentados con gas)	36
2.9.0	Hornos para baños de sales (calentados electricamente)	40
2.10.0	Fuentes de Energía	41
2.11.0	El Quemador	43
2.11.1	Tipos de Quemadores	44
2.11.1.1	Mezcla de gas y de aire dentro del Horno	44
2.11.1.2	Quemadores de 2 tuberías, mezcla a la entrada del Horno	44
2.11.1.3	Quemadores con una sola tubería y proporcionales	45

2.11.1.4	Quemador de Tobera de mezcla	46
2.12.0	Combustibles	49
2.12.1	Combustibles sólidos	49
2.12.1	Combustibles líquidos	50
2.12.3	Combustibles gaseosos	51
2.12.3.1	Gas natural	51
2.12.3.2	Gas fabricado	51
2.12.3.4	Gas mezclado	52
2.12.4	Composición de los combustibles	52
2.12.4.1	Odorización	52
2.12.4.2	Análisis	53
2.12.4.3	Inflamabilidad	53
2.13.0	Refractarios	55
2.13.1	Clasificación de los refractarios de acuerdo a su uso	56
2.13.1.1	Recipiente	56
2.13.1.2	Materiales de Construcción	57
2.13.1.3	Aislamiento Térmico	58
2.13.1.4	Cementos Refractarios	58
2.13.2	Refractarios no convencionales	58
2.13.3	Tipos de ladrillos	62
CAPITULO III		
3.0.0	DEFINICION DE PARAMETROS DE DISEÑO	64
3.1.0	Formulación del Problema	64
3.2.0	Análisis del Problema	64
3.2.1	Variables de entrada	64
3.2.2	Limitaciones de entrada	65

3.2.3	VARIABLES DE SALIDA	65
3.2.4	LIMITACIONES DE SALIDA	65
3.2.5	VARIABLES DE SOLUCIÓN	65
3.2.6	RESTRICCIONES	65
3.2.7	CRITERIOS	66
3.2.8	VOLUMEN DE PRODUCCIÓN	66
3.2.9	USO	66

CAPITULO IV

4.0.0	PROYECTO DEL AISLAMIENTO TERMICO	67
4.1.0	ANÁLISIS DE TRANSFERENCIA DE CALOR	67
4.2.0	TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN	67
4.2.1	CÁLCULO DEL CALOR POR CONDUCCIÓN	68
4.3.0	TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN	72
4.3.1	CÁLCULO DEL CALOR POR CONVECCIÓN	72
4.4.0	TRANSFERENCIA DE CALOR POR RADIACIÓN	74
4.4.1	CÁLCULO DEL CALOR POR RADIACIÓN	74
4.5.0	PÉRDIDAS TOTALES DE CALOR	76

CAPITULO V

5.0.0	CÁLCULOS DE LA COMBUSTION	77
5.1.0	CÁLCULO DE OXÍGENO NECESARIO PARA LA COMBUSTIÓN DEL PROPANO	77
5.1.1	CÁLCULO DEL AIRE TEÓRICO REQUERIDO PARA LA COMBUSTIÓN	79
5.2.0	CÁLCULO DEL GASTO DE PROPANO	81
5.3.0	CÁLCULO DE LA TUBERÍA DE GAS PROPANO	82
5.4.0	CÁLCULO DEL GASTO DE AIRE	87
5.5.0	EL VENTILADOR	88

5.5.1	Tipos de Ventiladores	89
5.5.2	Leyes de los ventiladores	89
5.5.2.1	Leyes	89
5.5.3	Selección del ventilador	90
5.5.3.1	Volumen de aire requerido	90
5.5.3.2	Presión estática del ventilador	91

CAPITULO VI

6.0.0	Medidas de Temperaturas	95
6.1.0	Pirómetros de resistencia eléctrica	96
6.2.0	Termopares	97
6.2.1	Partes de un termopar	98
6.3.0	Pirómetros de Radiación	99
6.4.0	Pirómetro óptico	100
6.5.0	Pirómetros de radiación total	101
6.6.0	Otros métodos de medición de temperatura	102

CAPITULO VII

7.0.0	COMBUSTIBLES. EL GAS PROPANO	104
7.1.0	Efecto de Vaporización	104
7.2.0	Cantidad de cilindros de gas	105
7.3.0	Control de presión del gas	107
7.3.1	Regulador de gas	108
7.3.2	Tipos de válvulas de control de presión	109
7.3.3	Diseños de las válvulas de control de presión	110
7.4.0	Instrumentos de medición de presión	111

CAPITULO VIII

8.0.0	EL RECUPERADOR	112
8.1.0	Velocidad de los gases quemados en el recuperador	115
8.2.0	Temperatura a la salida del recuperador	116
8.3.0	Tiro	119
8.3.1	Tiro natural	120
8.3.2	Chimeneas y cañones	121
8.3.3	Altura de la chimenea y el área	124
8.3.4	Tiro mecánico	126
	8.3.4.1 Sistema de tiro mecánico	127
8.4.0	Combinación de ventiladores con chimeneas	129
8.5.0	Cálculos de las pérdidas de tiro	130

CAPITULO IX

9.0.0	DESCRIPCION DEL DISEÑO	132
9.1.0	Análisis Económico	134

CAPITULO X

10.0.0	Conclusiones	136
10.1.0	Recomendaciones	137

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

INTRODUCCION

El presente trabajo tiene como finalidad, diseñar y construir un horno para tratamientos térmicos superficiales, por el método de cementación de sales.

La escuela de Ingeniería Mecánica no cuenta con un equipo de laboratorio para el proceso de enseñanza-aprendizaje en este campo, por lo cual, con el horno para cementación se suple la necesidad, tanto para la Escuela, como para el estudiante de la misma al poner en práctica los conocimientos teóricos adquiridos.

CAPITULO I: TRATAMIENTOS TERMICOS

Los tratamientos de los metales pueden definirse modernamente, como los procesos a que pueden someterse los metales una vez elaborados, con el objeto de mejorar sus propiedades mecánicas.

En este capítulo se hace mención de los tratamientos térmicos, que son la combinación de operaciones de calentamientos y enfriamientos de tiempos determinados y aplicados a un metal o aleación en el estado sólido. Entre los procesos tenemos el recocido, el temple, el revenido. También se habla de los procesos termoquímicos, de los cuales se mencionan la cementación, cianuración, Nitruración; como de la difusión de los metales y sus leyes fundamentales.

CAPITULO II: HORNOS

En este capítulo se dan a conocer diferentes tipos de hornos, con sus ventajas y desventajas; se habla de los diferentes tipos de quemadores y del combustible que se puede utilizar (ya sea combustible sólido, líquido o gaseoso).

Además se dan a conocer los materiales refractarios (ladrillos) de acuerdo a su uso, sus conductividades térmicas y los tipos de ladrillos que se encuentran en El Salvador.

CAPITULO III: DEFINICION DE PARAMETROS DE DISEÑO.

En este capítulo se realiza la formulación del problema sin detalle, para conocer su amplitud. Luego se analiza cuantitativamente y cualitativamente dando variables de entrada y salida, limitaciones, variables de solución, restricciones y criterios para así llegar a obtener un buen diseño del Horno.

CAPITULO IV: AISLAMIENTO TERMICO

En este capítulo se presenta el análisis teórico sobre los principios de transmisión de calor y los cálculos específicos con los datos de diseño.

En una primera fase, estos cálculos, así como los demás realizados en los análisis subsiguientes, sirvieron de base a los cálculos definitivos que se presentan en estas páginas, ya que inicialmente se trabajó con más suposiciones que las mantenidas en el presente trabajo.

CAPITULO V: ANALISIS ENERGETICO DE LA INSTALACION

También se investigan los principios de combustión para calcular las necesidades energéticas del horno y se efectúa el proyecto para las líneas de aire y de combustible, así también el equipo que cada uno de estos proyectos involucra.

CAPITULO VI: INSTRUMENTAL DE MEDICION

En la mayoría de los procesos metalúrgicos es necesario un control preciso de sus temperaturas de tratamiento térmico. La pirometría o medición de altas temperaturas es, en consecuencia, una de las ramas más importantes de la tecnología metalúrgica. En este capítulo se da a conocer la instrumentación para la medición de temperaturas.

CAPITULO VII: COMBUSTIBLES.

En este capítulo se habla especialmente del gas propano y se presenta el cálculo para llegar a conocer la cantidad de cilindros necesarios de gas para un período determinado. También se da la forma de controlar la presión en los cilindros y los instrumentos para medir dicha presión.

CAPITULO VIII: EL RECUPERADOR Y LA CHIMENEA

En este capítulo se describe lo que es el recuperador y la chimenea. También se presenta el análisis y los cálculos específicos de cada uno de los equipos. (Recuperador y chimenea).

CAPITULO IX: DESCRIPCION Y ANALISIS ECONOMICO DEL DISE_
ÑO.

En este capítulo se hace una descripción general, tanto del horno como de la instalación general. También se presenta el análisis económico, que se realizó con precios de mercado. En estos cálculos no se incluyeron los de operación y mantenimiento, por que es de suponer que los alumnos se encargarán del adecuado mantenimiento, mientras que los de operación quedan confinados a la compra del cilindro de gas.

Por último, se hacen reflexiones en torno al trabajo realizado y para terminar en la parte de Anexos.

ii- OBJETIVOS

Los siguientes objetivos van encaminados al desarrollo del trabajo de graduación:

Objetivos Generales:

El presente trabajo tiene como finalidad, potenciar a la escuela de Ingeniería Mecánica de un equipo de laboratorio para el proceso de enseñanza-aprendizaje en el campo metalúrgico, especialmente en el proceso de cementación por sales.

Objetivos Específicos:

- 1- Fomentar el desarrollo de tecnologías propias.
- 2- Proyectar a la Escuela de Ingeniería Mecánica hacia la solución de problemas de la Industria Salvadoreña.
- 3- Potenciar a la Escuela de Ingeniería Mecánica la investigación sobre procesos para la mejora de las propiedades de los materiales metálicos en plaza.

iii- JUSTIFICACION DEL TRABAJO

Los tratamientos térmicos ocupan un lugar importante en la tecnología actual como parte integrante de los procesos de fabricación. Dentro de éstos se encuentran los tratamientos termoquímicos (superficiales) tales como la cementación, nitruración, etc. Sin embargo, la Escuela de Ingeniería Mecánica no cuenta con equipo de laboratorio para el proceso enseñanza-aprendizaje en este importante campo, por eso el equipamiento de una planta para tratamientos y fundición cumpliría dentro de la Facultad, una función muy importante para desarrollar las unidades de investigación y enseñanza, representando una inversión necesaria para la Universidad pues al carecer de ella, se tiene que recurrir a otros laboratorios fuera del campus universitario.

Con la instalación dentro del Centro de estudios, se podrá disponer con mayor ventaja su utilización continua y mejores oportunidades para los estudiantes.

Este trabajo está justificado por los aspectos siguientes:

- Para uso de la Escuela de Ingeniería Mecánica, en las prácticas de tratamiento de materiales.
- Proyectos de investigación.
- Servicios a otras unidades de la Facultad
- Servicios de la Facultad al resto de la Universidad.
- Servicios al exterior.

CAPITULO I

TRATAMIENTOS TERMICOS

1.0.0 TRATAMIENTOS TERMICOS

Los tratamientos de los metales pueden definirse modernamente, como los procesos a que pueden someterse los materiales, una vez elaborados con el objeto de mejorar sus propiedades mecánicas.

Estos procesos pueden ser, mecánicos, térmicos y también pueden consistir en la aportación de otro elemento a la superficie del metal.

En la amplia definición que hemos dado de tratamiento han quedado incluidos los tratamientos clásicos, que son los térmicos, los modernos, como los termo-químicos y los superficiales. Pueden clasificarse todos los conocidos en la actualidad, por la característica del proceso de su aplicación.

1.1.0 CLASIFICACION DE LOS TRATAMIENTOS.

Tratamientos térmicos: combinación de operaciones de calentamientos y enfriamientos, de tiempo determinados y aplicados a un metal o aleación (acero) en el estado sólido, en una forma tal que producirá propiedades deseadas.

Entre los principales tratamientos térmicos, podemos mencionar:

1.1.1 RECOCIDO.

Es un tratamiento térmico consistente en un calentamiento a temperatura adecuada y de duración determinada, seguido del enfriamiento lento de la pieza.

El objeto del recocido es destruir estados anormales de los metales y aleaciones. Y como las anomalías de construcción y estructuras, en general endurecen el material, al destruirlos con el recocido se consigue ablandar los metales. Practicamente, por tanto, podemos decir que el objeto del recocido es ablandar los metales y aleaciones para poder trabajarlos mejor.

Se practican una serie de recocidos fundamentales, según la clase de anomalía que se trata de corregir, como por ejemplo, el recocido de homogenización el recocido de regeneración, el recocido contra acritud y el recocido de estabilización.

1.1.1.1 EL RECOCIDO DE HOMOGENIZACION.

Tiene por objeto destruir la heterogeneidad química -

de la masa de un metal o aleación, producida por una solidificación defectuosa. Se realiza a temperaturas relativamente elevadas, cercanas a la de fusión, y se aplica principalmente a las aleaciones de metales no férreos propensas a segregación.

(Composición variable entre el centro y la superficie de una unidad de estructura -gramo- dendrita resultante de crecimiento fuera de equilibrio que ocurre sobre un intervalo de temperatura).

1.1.1.2 EL RECOCIDO DE REGENERACION.

Tiene por objeto destruir la dureza anormal producida en una aleación por un enfriamiento involuntario o voluntario (temple). Se realiza también a temperaturas elevadas, aunque en general, inferiores a las del recocido de homogenización y se aplica exclusivamente a las aleaciones templables.

1.1.1.3 RECOCIDO CONTRA ACRTUD.

Tiene por objeto destruir el endurecimiento producido por la deformación en frío de los metales. Es decir, la acritud se realiza a temperaturas muy poco superiores a la de recristalización (consiste en transformar

los granos abrigados de un metal que haya deformado - en frío granos equiaxiales o poliédricos) y se aplica a todos los metales y aleaciones que se endurecen por deformación en frío.

1.1.1.4 RECOCIDO DE ESTABILIZACION.

Tiene por objeto destruir las tensiones internas producidas en la masa del metal por su mecanización o -- por los moldeos complicados. Se realiza a temperatu-- ras comprendidas entre 100°C y 200°C, durante tiempos muy prolongados, que superan frecuentemente las 100 - horas, se aplica a toda clase de metales y aleaciones. Este tratamiento es, en realidad, un envejecimiento - artificial, pues con él se consigue acelerar las -- deformaciones que se producirán en el transcurso del tiempo espontáneamente excitando así las variaciones de costos de las piezas una vez terminadas.

1.1.2 TEMPLE.

Consiste en calentar un material hasta una temperatura crítica, seguido de un enfriamiento muy rápido, pa-- ra impedir la transformación normal del constituyente "Anormal" con su estructura cristalina deformada y cu-- ya tensión de deformación aumenta su dureza.

El objeto del temple es, fundamentalmente aumentar la dureza y resistencia mecánica.

El endurecimiento conseguido con el temple, puede considerarse al obtenido con la deformación en frío. En este proceso, el aumento de dureza se debe a tensión en que quedan los granos al deformarse, o sea, a la deformación de su estructura micrográfica, y en el temple el aumento de dureza se debe a la tensión en que quedan los cristales por la deformación de la estructura cristalina. Se pueden definir dos clases de temple: El Temple Martensítico y el Temple de Precipitación.

1.1.2.1 EL TEMPLE MARTENSITICO.

Se aplica principalmente a los aceros y se debe su nombre al constituyente duro obtenido, que es la martensita que es nada menos que el hierro alfa sobresaturado de carbono. Esta sobresaturación distorsiona los cristales de hierro alfa y los pone en tensión y por consiguiente los endurece. En las aleaciones de metales no férricos, a las que se les aplica esta clase de temple, el constituyente formado no es martensita, sino otros de las mismas características. En

este temple el constituyente obtenido es la martensita, y el endurecimiento se produce en el acto.

1.1.2.2 EL TEMPLE DE PRECIPITACION.

Se aplica principalmente algunas de las aleaciones de aluminio, magnesio y cobre. Se denominan así porque el endurecimiento se obtiene por la precipitación de un compuesto químico que es el que pone en tensión a los cristales y los endurece, el constituyente obtenido al final del enfriamiento es el mismo que se había obtenido en el calentamiento, al que no se ha dado -- tiempo para transformarse por la rapidez del enfriamiento, y por tanto, a precipitar el compuesto químico. Es precisamente después del enfriamiento cuando va endureciéndose el metal por precipitación progresiva del compuesto químico.

1.1.3 EL REVENIDO.

Es un tratamiento complementario del temple y se aplica por tanto, exclusivamente a los metales templados.

Hay dos clases de revenidos: el revenido normal y el revenido de endurecimiento.

1.1.3.1 REVENIDO NORMAL.

O simplemente revenido, se aplica a las aleaciones -- tratadas con temple matensítico. Con este tratamiento se consigue mejorar la tenacidad de las piezas templa das, a costa de disminuir dureza. La temperatura del calentamiento es, naturalmente inferior a la del tem- ple y cuando más se aproxima a ésta y mayor es la per- manencia a la temperatura máxima y mayor es la dismi- nución de la dureza, y la mejora de la tenacidad, es decir, mayor es la intensidad del revenido.

La velocidad del enfriamiento no tiene ninguna infe-- rencia en el resultado del tratamiento.

1.1.3.2 EL REVENIDO DE ENDURECIMIENTO.

O maduración artificial, se aplica a las aleaciones -- tratadas con temples de precipitación.

Su objeto es precisamente acelerar la precipitación - de compuesto químico que endurece el material y por - tanto, este revenido produce un efecto contrario al - revenido normal, ya que endurece en lugar de ablandar. Las temperaturas de la maduración artificial dependen de la aleación que se trata, lo mismo que las perma--

nencias a estas temperaturas, la velocidad del enfriamiento tampoco tiene influencia en este tratamiento.

1.1.4 FACTORES EN EL DESARROLLO DE UN TRATAMIENTO TERMICO.

Todo tratamiento térmico se desarrolla en tres fases:

- a) Calentamiento hasta una temperatura máxima.
- b) Permanencia a la temperatura máxima.
- c) Enfriamiento desde la temperatura máxima a la temperatura ambiente.

1.2.0

TRATAMIENTOS TERMO QUIMICOS

El tratamiento termo-químico o químico, térmico (TQT) combina las acciones térmicas y químicas con el fin de cambiar la composición química, estructura y cualidades de la capa superficial de un metal o aleación. El tratamiento -- (TTQ) se realiza como resultado de la saturación por difusión de un metal o una aleación con no metales (C, N, B y otros) o metales (Al, Cr, Zn, etc.) en un medio activo saturante a una temperatura determinada.

Para elevar la durabilidad de las piezas de máquina - de mayor responsabilidad se usan ampliamente la cementación (carburación), nitrocementación y nitruración. A una escala algo menor se emplea la saturación superficial, con Boro, Silicio y metales. A manera de ejemplo podemos mencionar las piezas de automóviles y tractores, de máquinas herramientas, agrícolas, textiles y otras, sometidas a la cementación, nitrocementación y nitruración.

La mayoría de elementos de máquinas funcionan en condiciones de desgaste, cavitación, cargas cíclicas y corrosión, a temperaturas altas y crioquímicas, con las cuales las tensiones máximas surgen en las capas superficiales - del metal, donde se acumulan los concentradores principa-

les del esfuerzo. TTQ al elevar, la dureza, la resistencia al desgaste, a la formación de rayaduras, a la cavitación y la corrosión y cuando en la superficie favorables esfuerzos de comprensión residuales, aumenta la fiabilidad y durabilidad de las máquinas.

Los métodos principales de saturación que se utilizan para TTQ, son:

1- Saturación con mezclas de polvos (métodos de polvos).

Dado que a lo simple que es el proceso tecnológico, - dicho método se aplica en la producción en serie y en pequeñas series para la cementación calorización (altación), cromado, etc.

2- Métodos de saturación por difusión en medios gaseosos de flujo directo y de circulación.

El método en medio gaseoso de un solo paso permite regular la actividad del ambiente saturante (potencial de la atmósfera), centra ampliamente en la producción en serie y en grandes lotes para la cementación, nitrocementación y nitruración. El método con gas asegura una alta calidad de la capa de difusión y de la superficie de las piezas que se someten a tratamiento. El

método con gas asegura una alta calidad de la capa de difusión y de la superficie de las piezas que se someten a tratamiento. El método de circulación encuentra cada vez más ampliación en la saturación con metales y silicio.

- 3- Saturación por difusión en los metales o sales fundidas que contienen un elemento difundidor (con o sin empleo de electrólisis).

El método líquido posibilita reducir la duración del Proceso tecnológico, pero no siempre garantiza una alta calidad de la superficie y un espesor estable de difusión. Se aplica a la producción en serie.

- 4- Saturación en pastas o suspensiones (método de película de suspensión).

Estos procedimientos no tienen gran utilización, ya que no siempre aseguran un grosor uniforme del revestimiento y una calidad buena de la capa de difusión. Sin embargo, la saturación con pastas puede ser recomendada para el endurecimiento local de la superficie y el tratamiento de piezas de gran volumen.

5- Saturación por difusión con aplicación del vacío.

La saturación se lleva a cabo a partir de la fase de sublimación mediante la evaporación del elemento difundidor en el vacío a altas temperaturas. Las piezas sujetas al labrado pueden estar en contacto con la mezcla en polvo que contiene el elemento difundidor. La saturación en vacío es un método en perspectiva del TTQ.

La elección de uno u otro método de saturación se realiza de acuerdo con el tipo de producción, las dimensiones exteriores del producto a trabajar, el grosor requerido de la capa, etc. El proceso TTQ es heterogéneo, es decir, se efectúa en diferentes fases contiguas, aisladas una de otra por la superficie interfacial.

Los procesos heterogéneos transcurren en etapas múltiples. El TTQ comprende tres etapas principales correlacionadas, así:

1- Reacciones en el medio saturante.

Esta etapa de transferencia de masas se distingue por dos procesos: el de formación de átomos activos en un ambiente saturante y el de difusión de éstos hacia la

superficie del metal a tratar.

- 2- Reacciones en el límite de separación de las fases, o sea, absorción (químicoabsorción) por la superficie de saturación de los átomos activos que se han formado. En el proceso de químicoabsorción tiene lugar una interacción entre los átomos del elemento saturante y la superficie sujeta al tratamiento, la cual por su carácter e intensidad se aproxima a una máquina.
- 3- Difusión, o sea, traslación dentro del metal de los átomos absorbidos; a medida que se acumulen los átomos del elemento difundidor, en la superficie de saturación surge un flujo difusivo, que va desde la superficie, hacia el interior del metal a tratar. El proceso puede ocurrir únicamente a condición de que el elemento difundidor sea soluble en el metal y la temperatura sea bastante alta para asegurar a los átomos la energía necesaria.

1.2.1 CEMENTACION.

Consiste en carburar una capa superficial del acero, rodeándolo de un producto carburante y calentándolo a temperatura adecuada.

Una vez terminada la operación, se temple y reviene - la pieza quedando con gran dureza.

1.2.1.1 Superficial y buena tenacidad en el núcleo.

Los aceros empleados son de bajo contenido de carbono no superior a 0.30% utilizándose también, aceros aleados con níquel, cromo y molibdeno, especialmente aquellos adecuados a la cementación.

La operación se realiza de 850°-950°C, es decir, con el acero en estado Austenítico y el hierro en forma de hierro. Una vez absorbido el carbono por la capa periférica del acero, tiene lugar un proceso de difusión del carbono hacia el interior de la pieza.

La proporción del carbono de la capa cementada aumenta con la temperatura de cementación, pudiendo llegar hasta 1.76% C a 1.130°C. En general las proporciones de carbono que se consideran más adecuadas oscilan entre 0.50% C a 0.90% C con las que se consiguen después del temple durezas de 60 a 65 Rockwell-C. No conviene pasar del 0.90% de carbono, pues a partir del 1.0%C se forman carburos y redes de cementita que debilitan la capa cementada y tiende a descascarillarse. Para evitar este accidente, en caso de exceso de --

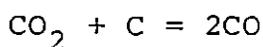
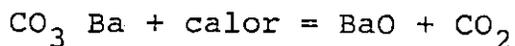
carbono en la capa cementada, se les da a las piezas un recocido de difusión de 800° - 900°C, en una atmósfera apropiada, con lo cual además de disminuir el -- porcentaje de carbono, se uniformiza la composición.

Respecto a las materias cementantes, pueden ser sólidas, líquidas (a la temperatura de cementación) baños de sales y gaseosas.

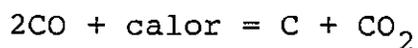
1.2.1.2 CEMENTANTES SOLIDOS.

Pueden emplearse para la cementación carbón vegetal, cok, huesos calcinados, etc. Sin embargo, con carbón sólo no se consiguen porcentajes de carbono en la capa cementada, superiores al 0.60%. Por eso se acostumbra a mezclarlo con carbonatos o alcalinotérreos.

La carburación se creyó en un principio que la efectuaba el carbono del carbón vegetal directamente, pero se ha comprobado después que es el carbono naciente producido por la descomposición del óxido de carbono a alta temperatura, según la reacción:



(1-1) Ref. 1



Las piezas que se han de cementar se colocan en cajas especiales de fundición, de chapa o de acero inoxidable, rodeadas de material cementante.

1.2.1.3 CEMENTANTES LIQUIDOS (sales fundidas).

Los baños de sales fundidas se utilizan mucho para cementación de piezas pequeñas, pues resulta este procedimiento más rápido y sencillo que la cementación con materias sólidas.

Las sales para cementar están formadas generalmente por cianuro sódico y otras sales en proporción variable, según la profundidad de la penetración que se desee obtener.

Para espesores de capa cementada 0.2 a 1.5 mm se utilizan sales de las siguiente composición (Ref.10):

Cianuro Sódico	25%
Cloruro Bórico	40%
Cloruro Sódico	35%

Para obtener espesores comprendidos entre 1.5 a 3 mm se puede utilizar la siguiente composición (Ref.10):

Cianuro Sódico	10%
Cloruro Bórico	55%
Cloruro Sódico	20%
Carbonato Sódico	15%

A medida que se realizan operaciones de cementación en un baño de sales, varía su composición, para mantenerla en límites adecuados se añadan sales nuevas que con tienen todos los elementos necesarios, o bien mezclas de dos o tres sales en las cantidades determinadas por los fabricantes. Los hornos de sales deben estar cubiertos por campanas para la evacuación de los gases, que son muy venenosos.

1.2.1.4 CEMENTACION GASEOSA.

Esta se efectúa colocando las piezas en una atmósfera carburante a las temperaturas de cementación 850°C - 900°C.

La atmósfera carburante está formada por una mezcla de un gas activo y un gas portador. El gas activo es, generalmente metano, aunque puede utilizarse también propano, y butano. El gas portador es una mezcla de óxido de carbono, hidrógeno y nitrógeno, con pequeños

porcentajes de vapor de agua, anhídrido carbónico, etc.

El espesor de la capa cementada, depende como siempre en su mayor parte de la duración de la operación, pudiéndose obtener en ocho horas hasta 5.5 mm de espesor.

El porcentaje de carbono de la capa cementada depende de la temperatura de la cementación.

En muchas ocasiones después de haber carburado a elevada temperatura se mantienen las piezas a unos 800°C en atmósfera neutra para mejorar la difusión del carbono en la capa cementada.

1.2.2 VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LOS DISTINTOS CEMENTANTES

Los cementantes sólidos son fáciles de utilizar, pero resultan caros de aplicar, por el consumo de combustible, y costo de la preparación de las piezas en las cajas. Además las temperaturas son muy desiguales en las cajas grandes. Los cementantes líquidos son de acción más rápida y de más sencilla aplicación que los sólidos. Se aplican mucho para piezas pequeñas de fabricación en serie, tiene el inconveniente de que las sales utilizadas son todas muy venenosas.

Los cementantes gaseosos son los mejores y más conocidos para cementar muchas piezas rápidamente. Su inconveniente principal, casi el único es la carestía de las instalaciones especiales que necesitan, "que impide su utilización en los talleres pequeños".

1.2.3 TRATAMIENTO TERMICO DE LAS PIEZAS CEMENTADAS.

Los tratamientos térmicos de las piezas cementadas -- son un poco complicados, debido a la diversidad del porcentaje de carbono entre el núcleo y la capa cementada. Los aceros de cementación contienen alrededor de 0.20% de carbono. En cambio, la capa cementada suele quedar con un porcentaje de un 0.80% a un 0.90%.

Las temperaturas de austenización, como varían según el porcentaje de carbono, siendo la de los aceros al carbono de 0.10% a 0.20% próxima a 900°C y en cambio la de los aceros de 0.8% no llega a 750°C. Por tanto si se da al acero un calentamiento a 900°C, la capa cementada quedará contemplada, pero como se ha sobrecalentado mucho por encima de los 750°C, que era su temperatura de austenización, habrá aumentado de su grano.

En cambio, su núcleo de 0.20% quedará templado correctamente, pero si calentamos el acero cementado a 750°C la capa cementada quedará templada correctamente, pero el núcleo quedará sin templar.

De acuerdo a esto se emplean los siguientes tratamientos:

- Temple directo desde la temperatura de cementación y revenido.
- Temple a temperaturas superiores a AC_3 y revenidos.
- Dos temple a temperaturas superiores a AC_3 y AC_1 y revenido final.
- Austempering y martémpering.

1.2.4 PROTECCIONES CONTRA LA CEMENTACION.

A veces interesa cementar solo determinadas superficies de una pieza, como por ejemplo, una pista de rodadura, etc. deseando que el resto de la pieza quede sin cementar.

Para conseguir este resultado, existen varios procedimientos:

- Puede dejarse un exceso de material en las zonas que no interese cementar. Al terminar la operación antes de templar se quita la capa carburante, mecanizando la pieza.
- Puede recubrirse la parte que no interesa cementar con varias vueltas de alambres de hierro o con arcillas sujeta con alambre.
- Si se trata de agujeros, pueden taparse con cementos especiales, etc.
- El procedimiento más empleado es el cobreado electrolítico de las superficies que no desean cementarse. Para ésto se pintan las superficies que se desean cementar con laca, o resina especial, y se cobreá el resto de la pieza.

Después se limpian las superficies pintadas y se somete a cementación la pieza, quedando protegidas las partes que no debían cementarse con el depósito de cobre.

1.2.5 CIANURACION.

Es el TTQ que consiste en la saturación difusiva de la capa superficial del acero simultáneamente con el

carbono y nitrógeno a 820°... 950°C en la masa fundida que contiene cianuros. La cianuración se aplica para elevar la dureza superficial, la resistencia al desgaste, el límite de fatiga a la flexión y la resistencia de contacto. La estructura después de la cianuración es análoga a la formada durante la nitruración a alta temperatura. Con el aumento de la temperatura el contenido del nitrógeno en la capa se reduce mientras que el de carbono se incrementa y por sus cualidades, la capa se aproxima a la cementada.

1.2.6 NITRURACION.

Es el TTQ que consiste en la saturación difusiva de la capa superficial del acero con nitrógeno y carbono durante el calentamiento, en un medio adecuado. Esta se realiza a 500°... 600°C (nitruración a baja temperatura).

A este tratamiento se pueden someter cualquiera de los aceros perlíticos, ferríticos y austeníticos, así como las fundiciones. Últimamente, se utiliza cada vez más ampliamente la nitruración a alta temperatura de 600°... 1200°C de los aceros ferríticos y austeníticos y de metales refractarios (Ti, Mo, Ni, V, etc.)

Como resultado de la nitruración, el acero adquiere - alta dureza de la capa superficial, pues no se altera durante el calentamiento hasta 400°C... 450°C, resistencia elevada al desgaste y baja tendencia a la formación de rayaduras, alto límite de fatiga: alta resistencia a la cavitación, buena resistencia a la corrosión.

1.3.0 DIFUSION DE LOS METALES.

Por difusión se entiende el desplazamiento de los átomos en la red cristalina a distancias que superan las medidas interatómicas de la sustancia dada. Si los desplazamientos de los átomos no están vinculados con el cambio de la concentración en volúmenes aislados, entonces dicho proceso se denomina autodifusión. La autodifusión es el desplazamiento de los átomos en un metal duro.

1.3.1 LEYES FUNDAMENTALES DE LA DIFUSION Y FORMALIZACION DE LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO QUIMICOTERMICO (TQT)

La formalización del tratamiento termoquímico, en concordancia con sus procesos físicos básicos, consiste en lo siguiente:

- 1- Descripción de los procesos que transcurren en un ambiente activo, con el fin de determinar la relación entre los parámetros tecnológicos de entrada y la actividad (el potencial) del ambiente de la cual depende la capacidad de éste para saturar.
- 2- Formalización del enlace entre la actividad del ambiente y la transferencia de masa (flujo) del elemento difundidor en la pieza, teniendo en cuenta las propiedades del material a tratar.
- 3- Descripción de la cinética de saturación por difusión, la cual determina la composición física, la estructura y la distribución de la concentración del elemento en el espesor de la capa.

La descripción matemática de la fase de difusión está basada en las suposiciones expresadas en el año 1855 por Fick y confirmadas reiteradamente en forma experimental.

Fick escribió las ecuaciones principales de la difusión, considerando la penetración de la sustancia difundidora en la matriz de una manera análoga a la

conducción del calor en el cuerpo a calentar.

La primera ley de Fick, obtenida para la difusión estacionaria, cuando la concentración del elemento difundidor no depende del tiempo, tiene la forma (Ref.1):

$$I = - D \left(\frac{dc}{dx} \right) \quad (1-1)$$

Donde: D= Constante de difusión

C= Concentración del elemento difundidor

La primera ley demuestra que el flujo de la sustancia difundidora durante la difusión estacionaria es proporcional al gradiente de concentración y está dirigido hacia la disminución de la concentración.

El coeficiente de proporcionalidad (D) se denomina -- constante de difusión y caracteriza la velocidad de -- difusión. La constante de difusión depende de la temperatura y la naturaleza de la sustancia difundidora y de la matriz.

En el sistema internacional de unidades, la unidad de medición de la constante de difusión es:

$$D [=] \frac{I}{dc/dx} \quad [=] \frac{m^2}{s}$$

Si la concentración cambia con el tiempo, entonces se emplea la ecuación de difusión, que refleja la variación de la concentración por la unidad de tiempo en un punto determinado de la zona difusiva (segunda ley de Fick) Ref. 1:

$$\frac{dc(x,t)}{dt} = -\frac{d}{dx} \left(D \frac{dc}{dx} \right) \quad (1-3)$$

Suponiendo que la constante de difusión depende en un grado insignificante de la concentración, lo cual se puede hacer en los cálculos prácticos, la ecuación de difusión se puede presentar en la siguiente forma:

$$\frac{dc(x,t)}{dt} = D \frac{d^2 c}{dx^2} \quad (1-4)$$

La segunda ley de Fick es una ecuación de derivadas parciales, para la solución unívoca de la cual es indispensable prefijar las condiciones iniciales y de frontera a los que deben satisfacer la concentración del elemento difundidor. Estas condiciones se determinan por un aspecto concreto de la pieza y el tratamiento termoquímico.

La distribución inicial de la concentración del ele--

mento difundidor en la capa, puede ser arbitraria. --
Por lo general, se supone igual a cero : $C(X, 0) = 0$

Las condiciones de frontera (en la frontera medio saturante matriz) se determinan en función del mecanismo de TQT aceptado a priori.

CAPITULO II
H O R N O S

2.0.0 HORNOS

Para valorar los procedimientos destinados al calentamiento del acero, hay que distinguir sistemáticamente --- entre aire, gases, líquidos y sólidos como vehículos de calor, con los que se aporta calor a las piezas.

2.1.0 REQUISITOS DE LOS HORNOS PARA TRATAMIENTO TERMICO.

- 1- Calentamiento uniforme de la carga. Esto es necesario para evitar la distorsión de los componentes ocasionada por una expansión desigual.
- 2- Control preciso de la temperatura. No solamente deberá operar el horno con un amplio margen de temperaturas, sino que habrá de ser ajustable -- con facilidad y precisión a la temperatura requerida.
- 3- Estabilidad térmica. No solamente es esencial -- que la temperatura sea ajustable con precisión -- sino que una vez ajustada, el horno deberá continuar a dicha temperatura. Esto se logra bien sea haciendo que la masa del revestimiento interior del horno (refractario) sea mucho mayor que la -- masa de la carga, o aplicando algún mecanismo --



automático de control.

- 4- Control de la atmósfera. Si la carga se calienta en presencia del aire, la superficie del metal resulta cubierta con muchas escamas, es decir, el oxígeno del aire reacciona con el metal de la carga formando óxido la aleación del material -- del componente en su superficie, y altera su temple y rigidez. Por otra parte, si los productos del gas o de los combustibles de petróleo se ponen en contacto con la carga, el contenido sulfuroso aumenta, lo que ocasiona fragilización.

- 5- . Uso económico del combustible. Este aspecto es esencial desde el punto de vista del costo del tratamiento térmico, debiendo aquel mantenerse al mínimo. Si el horno se puede hacer funcionar en forma continua, con turnos de trabajo consecutivos, se realizan considerables economías.

- 6- Bajos costos de mantenimiento. El horno está revestido con un material resistente al calor, tal como los ladrillos refractarios. Como el horno debe cesar en su servicio cada vez que se renueva su revestimiento interior, deberá ser diseñado

para que dicho revestimiento dure tanto como sea posible.

2.2.0 FRAGUAS.

La fragua es un lugar abierto alimentado con carbón vegetal, mineral o coque, que recibe por medio de un elemento mecánico, el aire necesario para la combustión. El carbón vegetal es el mejor combustible, aunque el - más caro.

La fragua tiene algunos inconvenientes que se pueden - mencionar: la temperatura es muy irregular en el curso de la combustión ocasionando un mal control térmico y ofrece pocas posibilidades de empleo de una regulación del calentamiento. Sus ventajas, por el contrario, es- triban en el reducido costo de instalación y en la po- sibilidad de hacerla transportable. La fragua se utili- za, por ejemplo en la fabricación de herramientas ma- nuales y cuchillos.

2.3.0 HORNOS DE CAMARA.

Horno con hogar abierto: la figura 2.1 muestra la forma más sencilla posible del horno. Un quemador de gas o - de petróleo funciona directamente sobre la carga, la

que recibe el calor reflejado por el revestimiento -- del horno.

Las ventajas que tiene este horno son: bajo costo inicial, sencillez de uso y mantenimiento, economía de - combustibles, calentamiento rápido; y entre las limita- ciones se pueden conocer: calentamiento desigual, mal control de la temperatura, mala estabilidad térmica y ausencia total de control atmosférico.

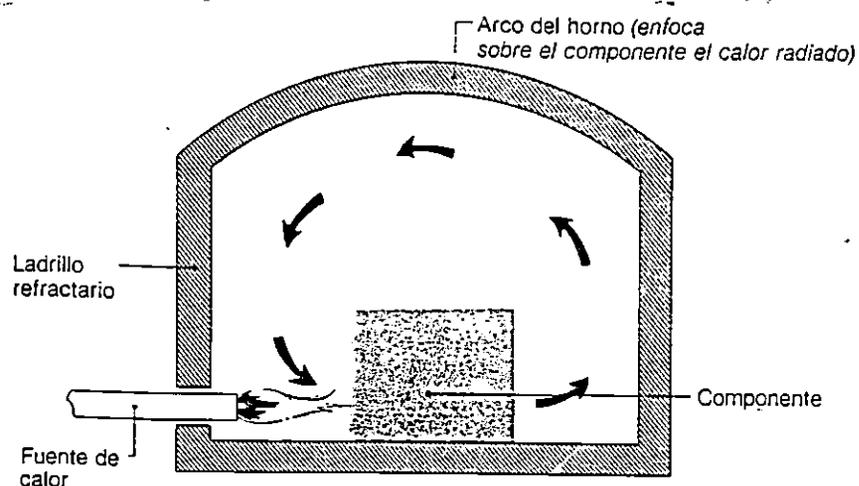


Fig. 2. 1' Horno con hogar abierto

2.4.0 HORNO SEMIMUFIA.

La figura 2.2 muestra una mejora considerable en relación con el horno del hogar abierto. La llama del quemador no va directamente sobre la carga, sino que pasa por debajo del hogar para producir "calor de fondo".

Este calor se suministra por conducción y radiación desde el hogar, obteniéndose un calentamiento suplementario mediante la circulación de los productos de la combustión, y por la radiación desde la corona del horno.

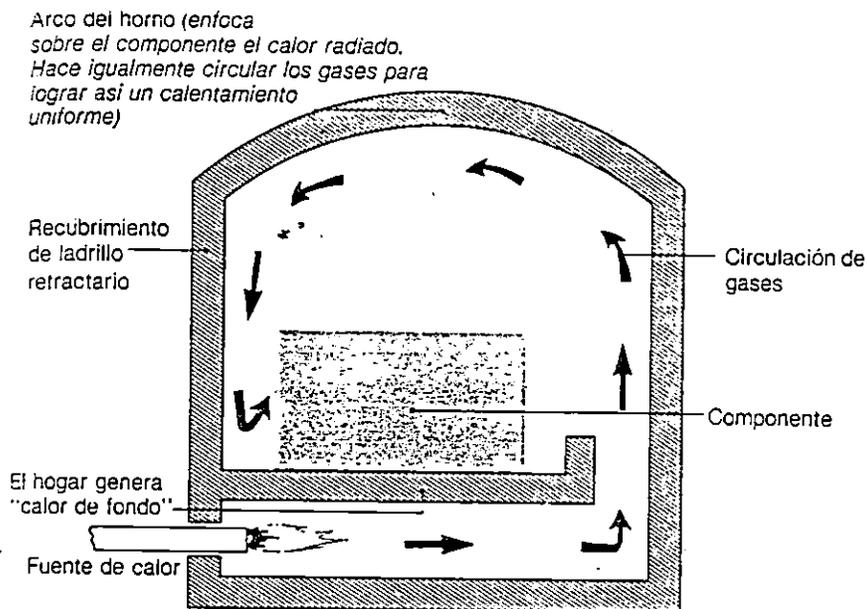


Fig. 2.2 Horno semimufla

2.5.0 HORNO DE MUFLA (calentado con gas).

En la figura 2.3 se observa que la carga se encuentra completamente separada de la cámara de combustión mediante una cámara interior denominada mufla. De esta forma pueden obtenerse las condiciones para una máxima economía de combustible en la cámara de combustión en tanto que podrá introducirse en la mufla cualquier

atmósfera que desee.

Evidentemente, este tipo de horno no se calentará tan rápidamente como los descritos antes, y puede ser utilizado eficazmente y únicamente con una producción -- continua.

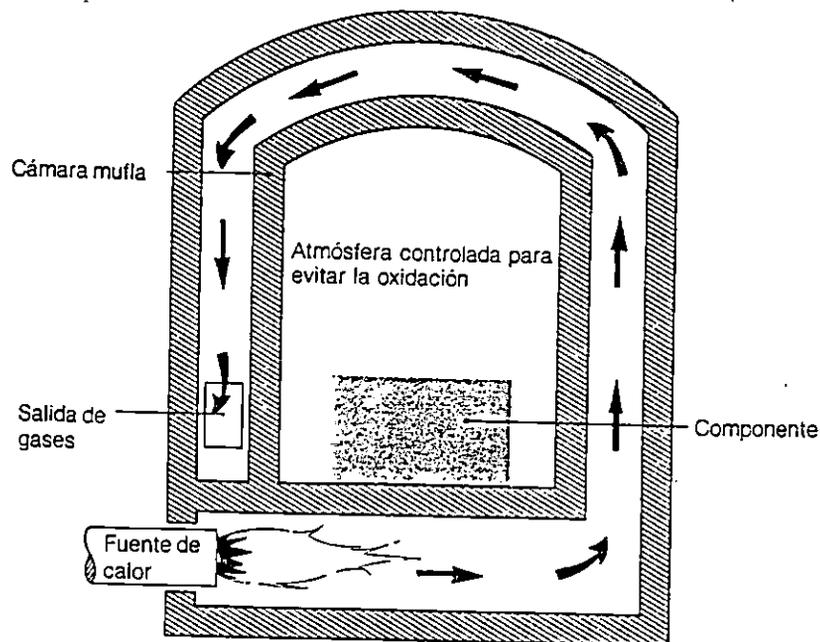


Fig. 2-3 Horno mufla (calentado a gas)

2.6.0 HORNO DE MUFLA (resistencias eléctricas).

La figura 2.4 muestra un horno de mufla común con resistencias eléctricas. Como la operación de los elementos calefactores eléctricos es independiente de la atmósfera en que les sitúe, pueden quedar instalados directamente en la mufla. Por lo tanto, aún cuando la electricidad es una fuente de energía térmica más costosa

que el gas o el petróleo, tal diferencia queda más que compensada por la mayor eficiencia operativa.

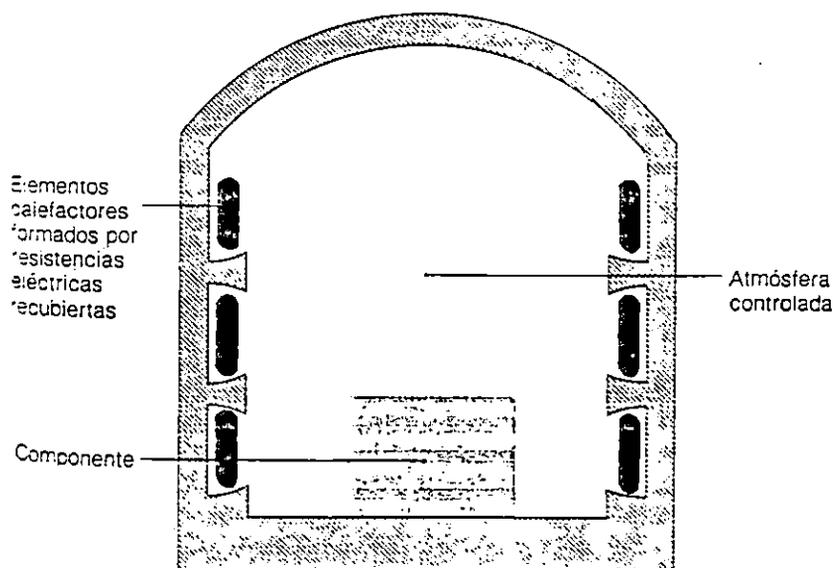


Fig. 2.4 Horno mufla (con resistencias eléctricas)

2.7.0 HORNOS CON DOBLE CAMARA.

En la figura 2.5 se observa que este horno está formado por una parte de horno semimufla, sobre la cual -- hay una cámara de precalentamiento, el cual se logra mediante los conductos de los gases de escape de la -- cámara baja. Este tipo de horno fue utilizado con anterioridad en forma muy amplia para el tratamiento -- térmico de los aceros rápidos, y aún sigue siendo uti lizado para trabajos contratados.

Las brocas de aceros rápidos se colocan en la cámara de precalentamiento en la que su temperatura aumenta --

lentamente, evitando de esta forma que se quiebren. El calentamiento final, hasta una elevada temperatura de endurecimiento, se logra despues rapidamente en la camara inferior, evitando así el crecimiento granular.

Las brocas precalentadas de esta forma pueden soportar el rápido calentamiento final sin resquebrajarse.

Este tipo de horno ha sido sustituido ampliamente por los hornos con baños de sal, para el endurecimiento, en la producción de aceros rápidos. Para lograr la elevada temperatura de endurecimiento de los aceros rápidos resulta necesario utilizar quemadores con tiro forzado, a la vez que se suministra aire a dichos quemadores mediante ventiladores centrifugos.

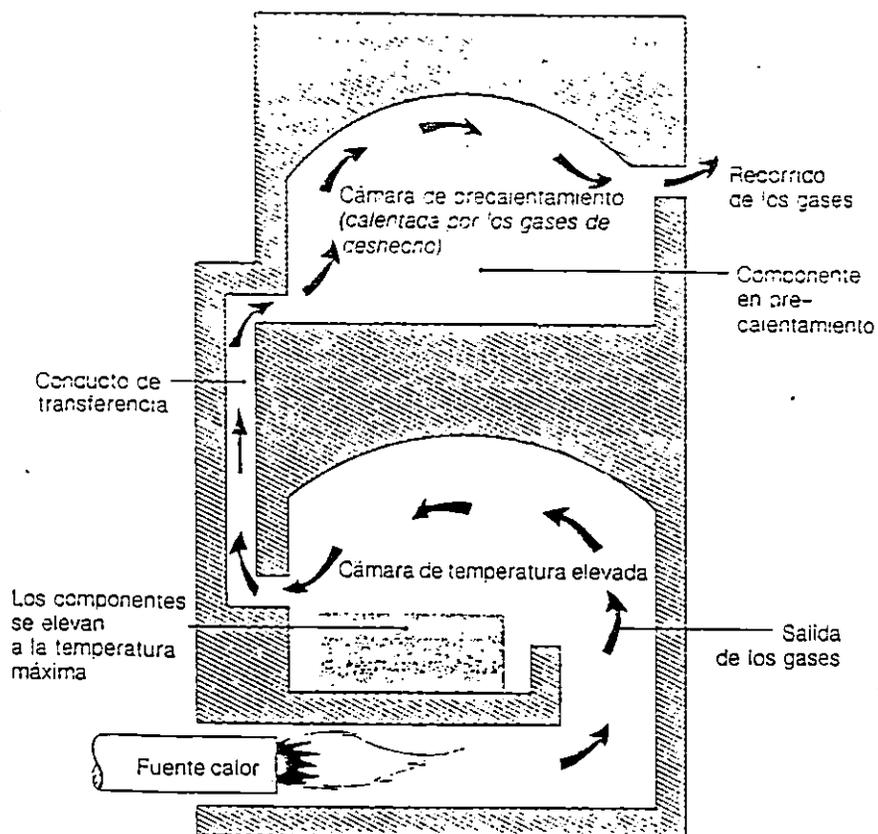


Fig.2.5 Horno mufla con doble cámara

2.8.0 HORNO PARA BAÑO SALINO (calentados con gas).

La figura 2.6 muestra un horno para baño salino calentado a gas.

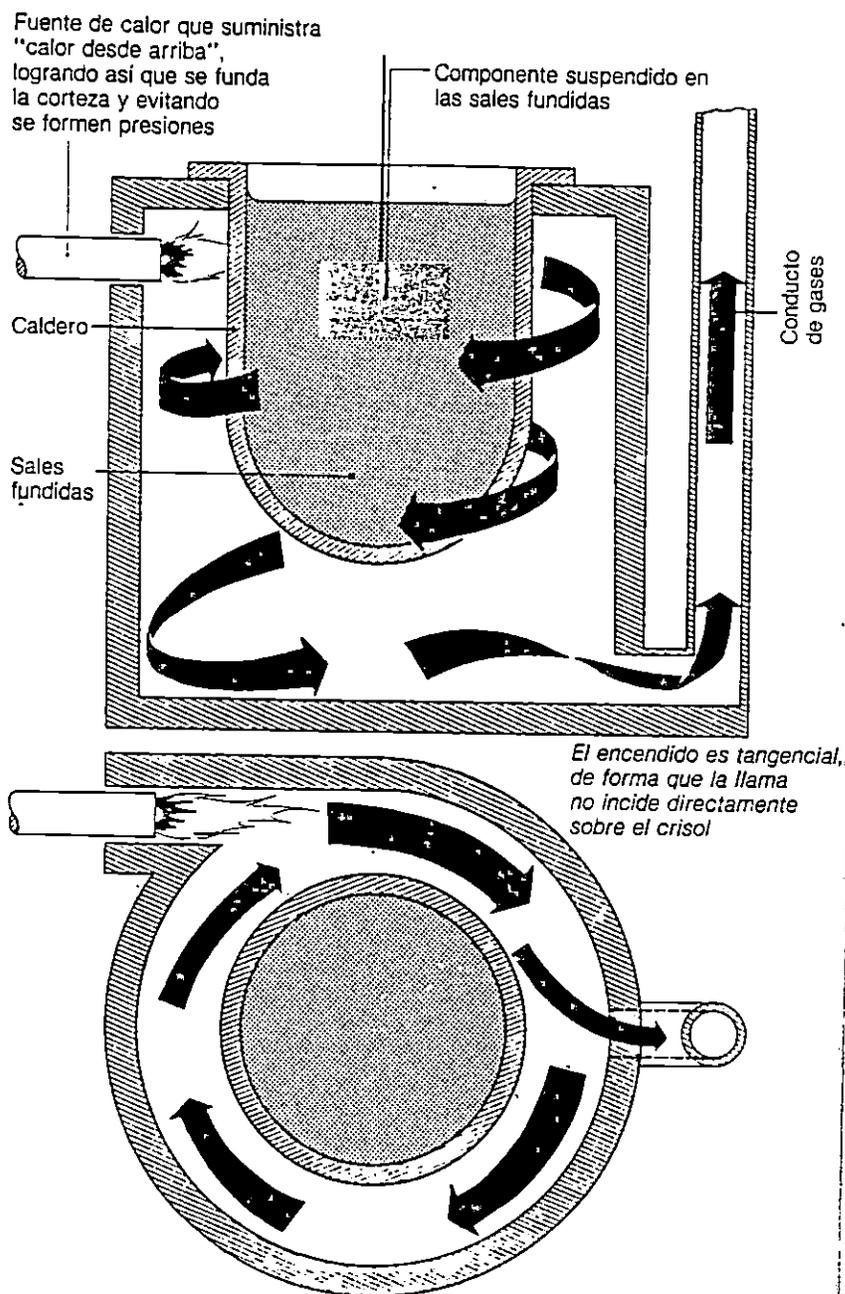


Fig. 2.6 Horno para baño salino (calentado a gas)

Los puntos a observar son los siguientes:

- 1- Flama tangencial: de forma que la llama no va di

rectamente sobre el crisol.

- 2- Calor desde arriba. Por razones de seguridad, -- las sales deben fundirse desde arriba hacia abajo. Si se calientan desde abajo, las sales líquidas en expansión saldrán en erupción a través de la corteza sólida, en la forma de un volcán en miniatura, creando una situación muy peligrosa -- por razón de encontrarse al rojo vivo.

- 3- Para evitar una explosión que lance las sales -- fundidas fuera del crisol, todas las piezas de -- trabajo y sus recipientes deberán estar secos y precalentados.

Las sales utilizadas dependen de los procesos que se lleven a cabo, y todos los proveedores experimentados recomendarán las sales más adecuadas para cada situación en particular.

Las sales con base de nitrato se utilizan para aplicaciones con bajas temperaturas, tales como el temple -- de las aleaciones de hierro y el tratamiento por solución de las aleaciones ligeras. Las cuales con base -- de cloruro se utilizan para el endurecimiento rápido

a temperaturas de 800°C o superiores.

Las sales de cianuro se utilizan para el endurecimiento de componentes de acero al bajo carbono. Como estas sales son venenosas hasta un extremo excepcional y mortal, deberá tenerse el mayor cuidado en su empleo y eliminación.

Las ventajas y limitaciones de este tipo de hornos -- son las siguientes:

Ventajas:

- 1- Uniformidad absoluta de calentamiento, ya que la carga queda envuelta en sales fundidas a la temperatura del tratamiento.
- 2- Control térmico preciso.
- 3- Alta estabilidad térmica si la masa de sales fundidas es considerablemente mayor que la masa de la carga.
- 4- No se requiere control atmosférico, ya que la carga queda envuelta en las sales en fundición.
- 5- Diseño comparativamente sencillo, y bajo costo inicial.

Limitaciones:

- 1- Baja economía en combustible, a menos de que se utilice el horno a base de turnos continuos.
- 2- Es necesario un mantenimiento regular.
- 3- Las sales del baño son potencialmente peligrosas, debido a la posibilidad de erupción de las sales si el trabajo está húmedo, y el riesgo de una explosión si se sobrecalientan las sales de nitrato. Por tal razón, se requiere una mano de obra muy bien entrenada para operar los hornos con baño de sales.

2.9.0 HORNOS PARA BAÑOS DE SALES (calentados eléctricamente).

En la figura 2-7 se observa que este tipo de horno cuenta con dos electrodos sumergidos en las sales. Estos - electrodos hacen pasar una intensa corriente eléctrica por las sales, corriente que tiene un bajo voltaje. La resistencia de las sales al paso de la corriente las - hace calentarse rápidamente y fundirse.

Aún cuando la electricidad es una fuente de energía -- más costosas que el gas o el petróleo, el hecho que la

energía térmica se genere dentro de las propias sales que este tipo de horno sea muy eficiente, y comparable, desde el punto de vista económico, con los hornos calentados por gas o petróleo. El calentamiento eléctrico facilita la aplicación de controles automáticos en los casos en que se requiere una elevada estabilidad térmica, como ocurre en el tratamiento térmico de las herramientas hechas con aleación de acero.

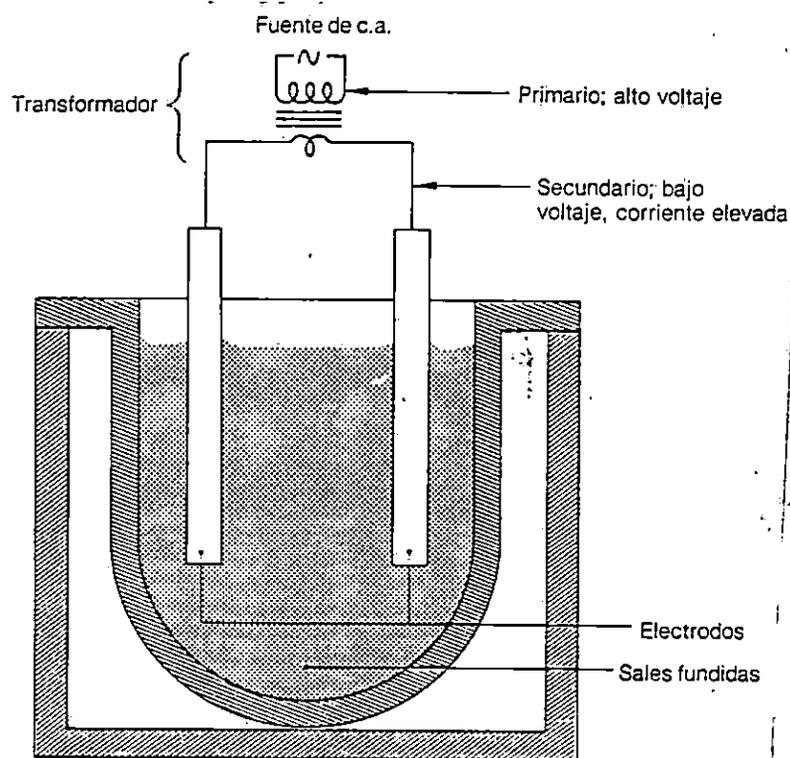


Fig. 2-7 Horno para baño de sal (calentado eléctricamente)

2.1.0.0 FUENTES DE ENERGIA.

El petróleo, el gas y la electricidad son las tres --
fuentes de energía utilizadas para calentar los --

hornos descritos anteriormente.

Petróleo:

No se le utiliza mucho, salvo en el caso de hornos -- muy grandes o donde se requiere una temperatura más -- elevada que la disponible utilizando gas natural.

Gas:

Se le utiliza ampliamente en el caso de hornos de calentamiento de todos los tipos y tamaños, y se encuentra disponible en todos los centros industriales.

Electricidad:

Es la forma más costosa de energía entre las disponibles, sin embargo, se utiliza ampliamente debido a su facilidad de control y su limpieza.

2.11.0 EL QUEMADOR

La selección del mejor combustible debe basarse en un estudio de los costos comparativos preparados, en la limpieza del funcionamiento en su adaptabilidad al control de la temperatura, en la mano de obra requerida y en el efecto de cada combustible sobre el material que ha de calentarse, y sobre el revestimiento del horno.

Debe dedicarse atención a la cantidad que ha de quemarse en cada quemador, a la atmósfera que se desea en el horno, y a la uniformidad necesaria de la distribución de la temperatura, la cual determina el número y la situación de los quemadores.

Un quemador debe cumplir lo siguiente:

- 1- Permitir una temperatura controlada uniforme en el horno.
- 2- Obtener una atmósfera controlada y uniforme en el horno.
- 3- Soportar el calor que se libera por la combustión.

En la realidad, la temperatura del horno no es uniforme aunque la atmósfera es constante, pero a veces sucede lo inverso y por ello el método de conseguir la uniformidad de temperatura y de la atmósfera, es ubicando el quemador

dor en una forma adecuada.

2.11.1 TIPOS DE QUEMADORES.

Existen una gran variedad de modelos y formas, por lo que es difícil clasificarlos de un modo rígido, pues algunos de estos quemadores están divididos en dos categorías, y un quemador puede ser ubicado en más de una clase. No se habla de cada tipo en una forma completa, sino en una forma breve de las principales características.

2.11.1.1 MEZCLA DE GAS Y DE AIRE DENTRO DEL HORNO.

Permite intercambiar libremente el calor radiante con el calor de la cámara de calentamiento. Dentro de ésta existen las dos categorías siguientes:

- 1- Gas o aire o ambos entran a través de conductos internos o externos.
- 2- Tubería externa, instalación, presión del horno inferior a la de la atmósfera.

2.11.1.2 QUEMADORES DE DOS TUBERIAS, MEZCLA A LA ENTRADA DEL HORNO.

Esta clase de admisión del aire se dá en dos etapas lo -

que resulta ventajoso si se puede ajustar la distribución del flujo de aire en dos etapas mientras que el flujo total del aire permanece aproximadamente constante. Se admite todo el aire por el tubo interior, la combustión se realiza rápidamente, pero con una llama muy poco visible.

Si entra todo el aire en la cámara refractaria del quemador en un anillo alrededor del tubo interior, la llama es luminosa, e incluso si es frío. Dentro de los tipos de estos quemadores tenemos:

- 1- Quemadores con aire forzado.
- 2- Quemadores con tobera de mezcla.
- 3- Quemadores con llama de gran longitud.
- 4- Quemadores para gas gasógeno.
- 5- Quemadores con aire caliente.
- 6- Quemadores con torbellino.
- 7- Quemadores con exceso de aire.
- 8- Quemadores con deflectores.
- 9- Quemadores con tubos radiantes.

2.11.1.3 QUEMADORES CON UNA SOLA TUBERIA Y PROPORCIONALES.

En estos cada quemador puede estar equipado con un --

mezclador proporcional individual, si el aire es el fluido impulsador, el gas se aspira en proporción pequeña si se compara con el aire aspirador, si el combustible empleado es uno de los gases comerciales de alta potencia calorífica.

Si por el contrario, se aspira el aire por un chorro de gas, la presión del gas debe estar alta. Los tipos de estos quemadores son:

- 1- Quemadores de mezcla proporcional, el gas aspira el aire.
- 2- Quemadores de mezcla proporcional, el aire aspira el gas.
- 3- Quemadores de túnel proporcional.
- 4- Quemadores de copa o cono radiante.
- 5- Quemadores de retención de la llama.
- 6- Quemadores de platina y de línea.

2.11.1.4 QUEMADOR DE TOBERA DE MEZCLA.

En estos quemadores, el aire y el gas se mezclan a es casa velocidad inmediatamente antes de la cámara refractaria del quemador o a la entrada de éste, pero -

el que se utilizará en este diseño, el gas se mezclará con el aire a mayor velocidad.

El grado de mezcla a la entrada de la cámara refractaria del quemador puede variarse en el sitio. La distancia (fig.2-8) del cono de mezcla, puede variarse en relación al diámetro de la tubería. La mezcla que en una tubería recta se realiza en un cono de 20° se completa si éste cono se encuentra en el interior del tubo. Esta ley simple no se cumple inmediatamente después de un codo.

Si se desea ajustar la distancia de (fig.2-8) la tubería del gas debe de ser flexible. La velocidad de entrada del gas afecta a la mezcla. Un chorro de alta velocidad arrastra el aire de los alrededores y provoca la mezcla.

Con una dimensión dada de tubería de gas se obtiene una gran velocidad de descarga, reduciendo la tubería hacia abajo o tapándola y colocándole una boquilla en la tapa. Si dicha tapa tiene orificios laterales se obtiene una mezcla aún más rápida. La tubería con tapa permite al operador del horno jugar con los quemadores. Ver figura 2-8.

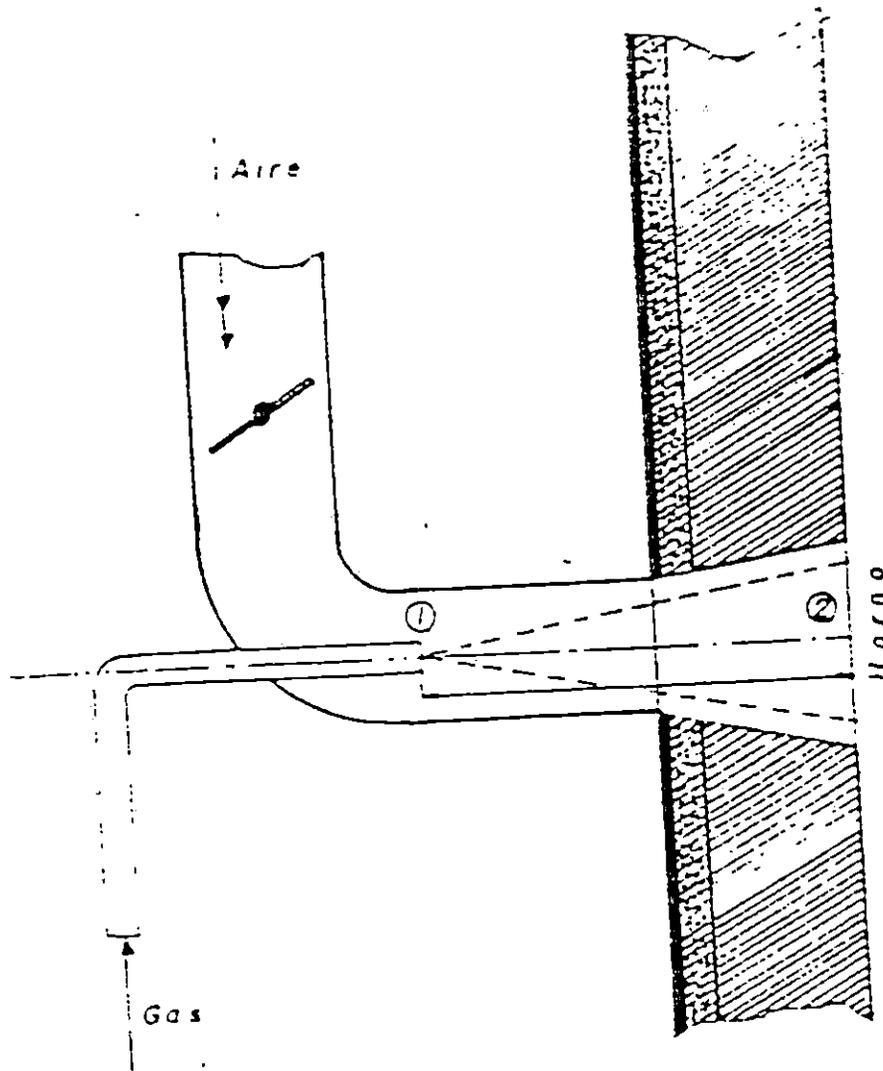


Fig. 2-8 Quemador de Soplado Simple.

2.12.0 COMBUSTIBLES

Los combustibles son materias orgánicas que pueden arder, en presencia del oxígeno, con el propósito de obtener un aumento en la temperatura.

Una propiedad importante de los combustibles es su -- temperatura adiabática de la llama; que es la temperatura alcanzada cuando se quema el combustible a presión constante con un volumen teórico de aire a la temperatura ambiente y en una cámara de combustión aislada térmicamente.

2.12.1 COMBUSTIBLES SOLIDOS.

La madera, la turba y el carbón se utilizan como combustibles industriales desde hace cientos de años. La palabra carbón abarca una gran variedad de combustibles sólidos, llamados lignitos, carbón poco bituminoso, carbón rico en materias volátiles, entracitas, -- grafito, carbón bituminoso y carbón pobre en materias volátiles.

El carbón mineral es un combustible sólido negro o negro pardusco, formado por la descomposición de la antigua vegetación en ausencia de aire, bajo la influencia de acción bioquímica, humedad, presión, y calor.

los elementos que componen este combustible son: hidrógeno y oxígeno y pequeñas cantidades de nitrógeno y azúfre.

2.12.2 COMBUSTIBLES LIQUIDOS

Los combustibles líquidos más comunmente usados son - el fuel-oil y el alquitrán. La gasolina, el kerosene y el alcohol, son demasiado caros para ser considerados como combustibles para calentamiento industrial, excepto para hornos muy pequeños y como combustible sustituto durante un tiempo corto en días demasiados fríos.

Los combustibles líquidos ofrecen un cierto número de ventajas. Un líquido puede ser almacenado encima o debajo del suelo y en lugares apartados. Algunos combustibles líquidos no necesitan precalentamiento y están siempre en disposición de ser usados.

Con el combustible líquido no se dan las pérdidas por mantenimiento, que son inevitables con gasógenos, plantas de gas, de agua y otros equipos para la fabricación de gas industrial. Los combustibles líquidos se transportan facilmente del depósito al horno y se quedan sin dejar un residuo notable de cenizas.

2.12.3 COMBUSTIBLE GASEOSO

Los combustibles gaseosos, especialmente los gases -- fríos y puros, tienen muchas ventajas sobre los com-- bustibles líquidos y sólidos, por esto se usan cada - vez con más profusión, incluso cuando el costo por caloría excede ligeramente el de otros combustibles.

2.12.3.1 GAS NATURAL

Su nombre ya indica que no está fabricado por métodos artificiales, puede emplearse tal y como se extrae - del suelo. Es el primer combustible gaseoso en EE.UU. se encuentra en depósitos subterráneos, separado o mezclado en petróleo crudo.

2.12.3.2 GAS FABRICADO

Es un gas combustible, preparado a partir de otro material sólido, líquido o gaseoso, como el carbón, coque, aceite o gas natural. Los tipos principales de este gas son:

Gas de retorta de carbón mineral, gas de hornos de coquización, gas de agua, gas natural reformado, propano o gas licuado de petróleo.

2.12.3.3 GAS MEZCLADO

Se prepara añadiendo gas natural o gas licuado del petróleo al gas fabricado obteniéndose un producto de mejor utilidad y de más alto poder calorífico.

2.12.4 COMPOSICION DE LOS COMBUSTIBLES

No todas las especificaciones tienen o pueden cubrir todas las situaciones, ya que las composiciones del gas pueden variar mucho. Los requerimientos generalmente están basados en el comportamiento del quemador y el equipo, en el poder calorífico mínimo, y en el máximo contenido de azúfre.

El principal componente del gas natural es el metano (CH_4); los otros componentes son los hidrocarburos parafínicos más pesados, como el etano, propano y los butanos.

2.12.4.1 ODORIZACION

La odorización se lleva a cabo añadiendo trozos de compuestos orgánicos, que contengan azúfre, antes que el gas se distribuya a los consumidores. El requerimiento es que una persona anormal pueda detectar la presencia del gas por el olor, cuando la concentración en el aire sea de 1%.

2.12.4.2 ANALISIS

Los diferentes métodos para el análisis de gas incluyen: absorción, destilación, combustión, espectroscopia infrarrojas y cromatografía de gases.

Los métodos de absorción, como el de orset y el de hempel, implican la absorción de los componentes individuales, uno cada vez, en los solventes adecuados y el registro de la contracción en el volumen medido.

El método de destilación, como el de uso de una columna Podbidmiak depende de la separación de los componentes por la destilación fraccionaria y de la medición de los volúmenes destilados.

En los métodos de combustión, algunos elementos se queman para producir CO_2 y H_2O ; los cambios de volumen se emplean para calcular la composición.

2.12.4.3 INFLAMABILIDAD

Los límites superior e inferior de inflamabilidad indican el porcentaje de gas combustible en aire por encima del cual la flama no se propaga. Cuando se inicia la flama en mezclas con composiciones dentro de éstos límites se propaga y por ellos las mezclas son inflamables para prácticas de seguridad en el manejo de los gases.

Entre muchos de los factores que intervienen en la de terminación experimental de los límites de inflamabilidad de los gases, están el diámetro y la longitud del tubo, o en el recipiente empleado para la prueba, temperatura y presión de los gases, como la dirección de la propagación de la flama hacia arriba o hacia abajo.

2.13.0 REFRACTARIOS

Son aquellos materiales no metálicos, que soportan temperaturas muy elevadas sin fundirse, sin sufrir una deformación excesiva o sin experimentar cambios de composición. -- Existe una gran cantidad de requisitos que debe llenar un material refractario para considerarse como tal, pero condiciones más importantes para el Ingeniero Mecánico son:

- 1- Habilidad para procurar una buena aislación térmica.
- 2- Trabajar el refractario como un material estructural de alta temperatura.
- 3- Servir como soporte de enrollamiento metálico en hornos de resistencia eléctrica.
- 4- Que pueda ser utilizado como recipiente para metales líquidos.

Para clasificar los refractarios, conforme a los requisitos principales citados, se debe conocer algo acerca de las siguientes propiedades:

- 1- Punto de fusión.
- 2- Conductibilidad térmica.
- 3- Resistencia mecánica a temperaturas elevadas.

- 4- Coeficiente de expansión térmica.
- 5- Resistencia al choque térmico.
- 6- Capacidad de ser químicamente inerte a los metales líquidos y a su entorno.
- 7- Conductividad eléctrica mayor a temperaturas altas.

La resistencia al choque térmico es una cualidad derivada, que depende principalmente de los coeficientes de expansión y conductividad térmica y en menor grado de la resistencia mecánica, módulo elástico y plasticidad del material.

2.13.1 CLASIFICACION DE LOS REFRACTARIOS DE ACUERDO A SU USO.

2.13.1.1 RECIPIENTES.

El problema más difícil respecto a refractarios, para un investigador, consiste en encontrar un crisol inerte al metal que se funde en él. Probablemente ningún crisol es completamente inerte, pero el criterio general para aceptarlo o rechazarlo radica en la magnitud del cambio de las propiedades del metal usado por la contaminación del crisol.

Los límites de contaminación oscilan entre los casos en que no hay cambios detectables en las propiedades

como resultado de la fusión y la alteración drástica de las propiedades del metal acompañados de la destrucción del crisol.

En general, con excepción de los metales alcalinos y alcalinos térreos, aquellos de punto de fusión bajo, como el estaño, indio, galio, cinc y plomo. funden -- prácticamente en cualquier clase de refractario, sin Ninguna dificultad, en cambio respecto a los metales de punto de fusión más elevados (superior 1000°C), se debe pensar en la posibilidad de una reacción química entre el crisol y el metal fundido.

2.13.1.2 . MATERIALES DE CONSTRUCCION.

Prácticamente se usa el horno de tubo y mufla en donde éstos forman la cámara de calentamiento, el soporte de enrollado metálico, soportes de crisol y una gran variedad de casos similares. Ante estas aplicaciones, las principales propiedades de importancia son: un -- punto de fusión alto, conductividad térmica buena, ha bilidad para dejarse fabricar en formas complejas y - una resistencia mecánica buena a temperaturas elevadas.

2.13.1.3 AISLAMIENTO TERMICO.

Los materiales aislantes tienen mucha importancia en la construcción de hornos, pues evitan pérdidas de calor excesivas y por consiguiente, un consumo excesivo de combustible, siendo posible así alcanzar temperaturas máximas con una geometría de horno dada. Los ladrillos y el polvo suelto son las formas comunes de materiales refractarios aislantes y ambos tienen sus propios usos.

2.13.1.4 CEMENTOS REFRACTARIOS.

Los cementos se utilizan para fijar el enrollamiento metálico sobre los tubos refractarios (núcleos de hornos), para unir ladrillos y unir otras partes, para encamizar el interior de crisoles y para otros usos bastante numerosos. La mayoría de los cementos refractarios se trabajan con poca agua, formando un material pastoso que se apisona en el lugar indicado. Después de secar al aire, endurecen más o menos en general -- quedan fijos o endurecen completamente cuando se queman a temperaturas elevadas.

2.13.2 REFRACTARIOS NO CONVENCIONALES.

Los refractarios tratados anteriormente constituyen -

la mayoría de los refractarios de uso ordinario en el laboratorio de metales, sin embargo, existen otros -- compuestos de punto de fusión elevado acerca de los - cuales, en general se conoce comparativamente poco, - aunque muchos de esos compuestos han sido parcialmen- te investigados en años recientes. En estos materiales son muy estables los carburos, nitruros, sulfuros, siliciu- ros y fosfuros, los cuales tienen punto de fusión muy por encima de los 2000°C y constituyen un campo rela- tivamente nuevo en la tecnología de los materiales de temperatura elevada. En las tablas 2-1 y 2-2 se presen- tan diferentes tipos de refractario.

TABLA N° 2-1
TIPOS NUEVOS DE REFRACTARIOS
Ref. 10

NOMBRE	CARBUROS	TEMPERATURA DE FUSION (°C)
Carburo de Boro	B_4C	2350°C
Carburo de Molibdeno	MO_2C	2380
Carburo de Silicio	SiC	2700
Carburo de Tantalio	TaC	3880
Carburo de Titanio	TiC	3140
Carburo de Volframio	Wc	2780
Carburo de Vanadio	Vc	2330
Carburo de Circonio	ZrC	3530
NITRUROS		
Nitruro de Tantalio	TaN	3360
Nitruro de Titanio	TiN	2900
Nitruro de Vanadio	Vn	2050
Nitruro de Circonio	ZrN	2950
SULFUROS		
Sulfuro de Cerio	CeS	2450
Sulfuro de Torio	Ce_3S_4	2050

TABLA 2.2
 CONDUCTIVIDAD TERMICA DE ALGUNOS MATERIALES COMUNES
 (Ref. 7)

MATERIAL	TEMP. °C	* Conductividad Térmica (k)	
		BTU/pie ² hr.°F/pulg.	BTU/pie ² hr°F/pie
ALUMINIO	0	1,400	117
	200	1,490	124
	400	1,730	144
	500	1,860	155
COBRE	100-200	(a) 2,916	(a) 243
	100-370	(a) 2,700	(a) 225
	100-541	(a) 2,620	(a) 218
	100-837	(a) 2,500	(a) 208
	500	2,484	207
HIERRO FORJADO	18	418	35
	100	416	35-32
	400	314	26
	500	276	23
HIERRO COLADO	100	314	26
ACERO SUAVE	100	311	26
	400	276	23
	600	256	21
	800	197	17
	1,200	168	14
METAL MONEL	100	203	17
	400	244	20
BRONCE	100	711	59
	400	810	68
LADRILLO REFRACTARIO	300	7.3	0.61
	700	8.1	0.68
	1,700	8.4	0.70
LADRILLO DE MAGNESITA (86% Mg .0)	500	24.9	1.9
	700	20.6	1.6
	1,100	17.4	1.1

CUBIERTA DE	0-200	(a) 0.73	(a) 0.06
OXIDO DE -	0-400	(a) 0.81	(a) 0.07
MAGNESIO PARA	0-600	(a) 0.90	(a) 0.08
TUBERIA	0-800	(a) 1.02	(a) 0.009
CUBIERTA DE OXIDO	50	0.38	0.03
DE MAGNESIO PARA	100	0.41	0.03
TUBERIA.	200	0.46	0.04
	400	0.64	0.05

*/ Las dimensiones son estrictamente BTU/pie-hr-°F) pero se da así por claridad.

(a) Valores medios para el rango dado de temperatura.

2.13.3 TIPOS DE LADRILLOS.

En El Salvador, se encuentran las compañías "Salvador Machinery Company, S.A. de C.V.", "OXGASA, de C.V." y "Repuestos Industriales, S.A.", los cuales son importadoras de ladrillos refractarios que se clasifican como básicos, debido a que contienen hasta el 98% de magnesio. Por ser de origen norteamericanos los tamaños son estandarizados por la oficina de simplificación del departamento de comercio de los Estados Unidos.

Entre los ladrillo importados hay rectos y de forma de arco.

Sumando con el diámetro interno (con la cara C' hacia adentro) la cifra de $2b$, el diámetro del horno hasta la cara C de la capa de ladrillos refractarios, se incrementa el valor en 17.18 pulgadas.

Esto se observa en la figura 2-9.

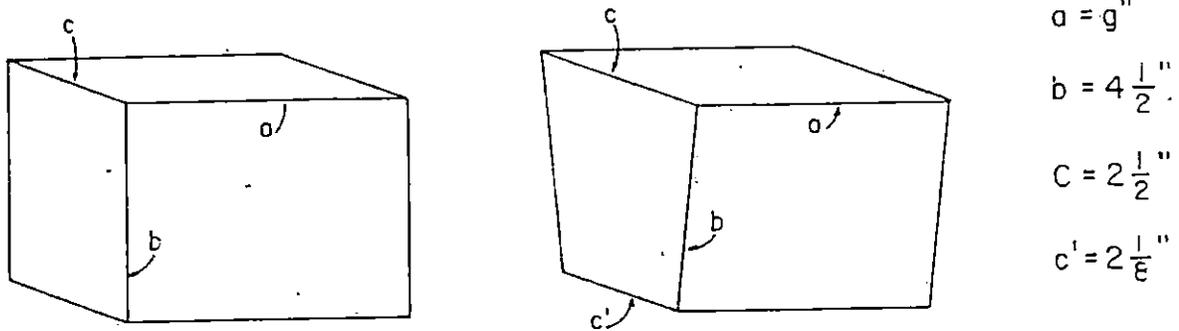


FIG. 2.9 LADRILLOS REFRACTARIOS PARA EL HORNO
DE CRISOL

CAPITULO III
DEFINICION DE PARAMETROS DE DISEÑO

3.0.0 DEFINICION DE PARAMETROS DE DISEÑO

3.1.0 FORMULACION DEL PROBLEMA.

Esta etapa, se define el problema sin detalle, para conocer su amplitud.

ESTADO A : Diseño y construcción de un horno de ce
men
tación.

ESTADO B : Horno de cementación construido.

NOTA: La solución al problema depende del tiempo asig
nado a la construcción, como también de los cos
tos.

3.2.0 ANALISIS DEL PROBLEMA.

Analizaremos el problema con detalles, determinando características cuantitativas y cualitativas.

3.2.1... VARIABLES DE ENTRADA.

- Tamaño de carga.
- Peso de carga.
- Tipo de material.
- Tipo de horno.
- Tipo de sales.

3.2.2 LIMITACIONES DE ENTRADA.

- No puede ser mayor de 120 in³ (1,966,447.68 mm³)
- No puede ser mayor de 24 lbs. (10 kgs.)
- Horno de crisol.

3.2.3 VARIABLES DE SALIDA.

- Cantidad de carbono depositado
- Espesor de capa cementada.
- Que sea eficiente.

3.2.4 LIMITACIONES DE SALIDA.

- La cantidad de carbono depositado que sea mayor de 0.5% y menor de 1.2% C.
- Espesor de la capa que sea mayor de 0.02" pulgadas.

3.2.5 VARIABLES DE SOLUCION.

- Tamaño de las piezas.
- Forma de las piezas.
- Método para extraer las piezas.
- Fuente de energía.
- Materiales de construcción.

3.2.6 RESTRICCIONES.

- El horno y sus accesorios debe ser de fácil manejo.
- De fácil mantenimiento.
- El gas combustible que sea propano.
- Que el costo no exceda de los ¢ 5,000.00
- Que sea funcional y seguro.

3.2.7 CRITERIOS.

- De bajo costo.
- De fácil operacion.
- Que cumpla con las normas de seguridad.

3.2.8 VOLUMEN DE PRODUCCION.

Por el momento se piensa construir un modelo.

3.2.9 USO.

Para uso de laboratorio de tratamientos térmicos, específicamente en la cementación por sales. Además, para otras unidades que lo soliciten.

CAPITULO IV
AISLAMIENTO TERMICO

4.0.0 PROYECTO DEL AISLAMIENTO TERMICO

4.1.0 ANALISIS DE TRANSFERENCIA DE CALOR.

El calor es energía en tránsito como consecuencia de una diferencia de temperatura entre su fuente y su punto de destino.

Usualmente se considera que la transferencia de calor ocurre por los tres procesos siguientes: conducción, convección y radiación.

4.2.0 TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCION.

La conducción transfiere el calor por interacción a través de los cuerpos en contacto.

La cantidad de calor transportado a través del cuerpo en un tiempo dado es:

- a) Directamente proporcional a la diferencia de temperatura entre la superficie caliente y la superficie fría.
- b) Inversamente proporcional al espesor de la placa o pared a través de la cual está fluyendo el calor.

- c) Directamente proporcional al área total de la superficie de la placa o pared a través de la cual está fluyendo calor.

Cuando las temperaturas son constantes, se dice que la conducción está llevándose a cabo en "Estado Estable". Bajo estas condiciones, el número de unidades de calor conducidas por hora y por unidad de área se conoce como la conductividad térmica del material.

4.2.1 CALCULO DEL CALOR POR CONDUCCION

La configuración básica del horno es de un cilindro hueco, con un espesor de pared constante, y por lo tanto se puede estimar el flujo de calor estacionario. Teniendo la ecuación:

$$q_{\text{cond}} = \frac{A(T_1 - T_3)}{R} = \frac{A(T_1 - T_3)}{\frac{\ln(R_2/R_1)}{k_1} + \frac{\ln(R_3/R_2)}{k_2}} \quad \begin{array}{l} \text{(Ec. 4-1)} \\ \text{Ref. 7.} \end{array}$$

Donde:

T1 : Temperatura de la cara caliente

T3 : Temperatura de la cara fría

R : Radio del cilindro

ln : Logaritmo natural

- A : Area a través de la cual el calor es conducido.
- K : Constante de proporcionalidad, es característica de cada material y se conoce como su conductividad térmica.

La figura 4-1 ilustra los detalles del horno y parámetros involucrados. Si la ecuación 4-1 se refiere a la unidad de longitud del cilindro, la expresión se vuelve:

$$\frac{q}{l} = \frac{2 \pi (T_1 - T_3)}{\frac{\ln(R_2/R_1)}{K_1} + \frac{\ln(R_3/R_2)}{K_2}} \quad (\text{Ec. 4-2})$$

Suponiendo $T_3 = 100^\circ\text{F}$, valor arriba de la temperatura ambiente $T_0 = 86^\circ\text{F}$ (30°C) y $D_1 = 8.18$ pulgadas, $D_2 = 19.18$ pulgadas y $D_3 = 20$ pulgadas.

También de la tabla 2-2 (Capítulo II), conocemos las conductividades térmicas:

Ladrillo refractario : $K_1 = 0.70$ BTU/hr-p - $^\circ\text{F}$

Acero : $K_2 = 14$ BTU/hr -pie- $^\circ\text{F}$

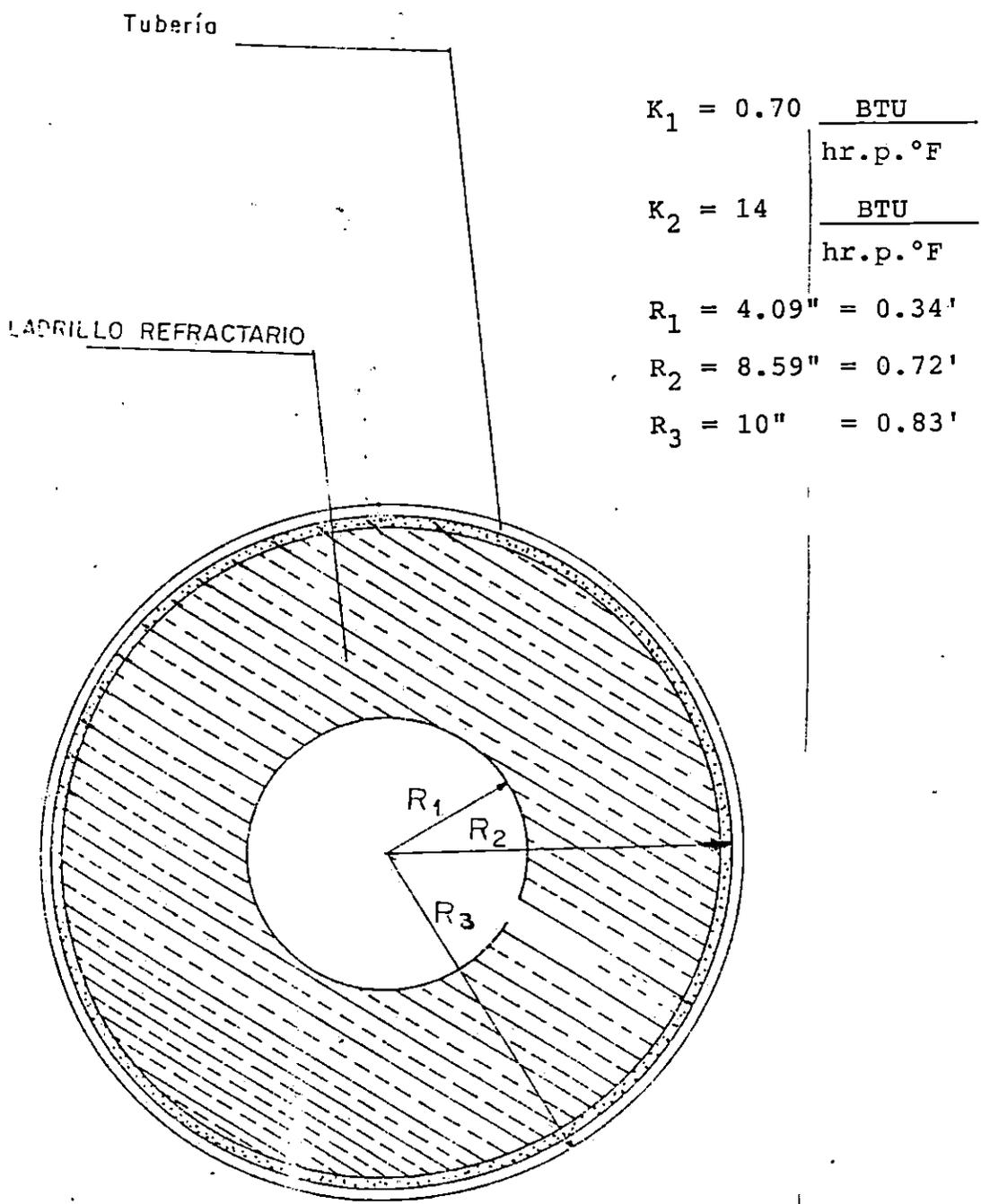


FIGURA 4-1 SECCION TRANSVERSAL MOSTRANDO LA PARED COMPUESTA DEL HORNO DE CRISOL.

Entonces:

$$\frac{q}{l} = \frac{2 \pi (1832 - 100)}{\frac{\ln(8.59/4.09)}{0.70} + \frac{\ln(10/8.59)}{14}}$$

$$\frac{q}{l} = 101.62.27642 \frac{\text{BTU}}{\text{hr-pie}}$$

Sabiendo que $L = 9.84$ pulgadas = 0.82 pies, entonces:

$$q = 10.162.27642 \times 0.82$$

$$\underline{q = 8333.06 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}}$$

Para calcular el calor perdido en el fondo, se supone que dicho fondo se fabricará recubriendo la tapa de abajo con ladrillo refractario, lo cual será de fundición gris. Entonces (ver fig. 4-2):

$$q = \frac{A (T_1 - T_0)}{\frac{L_1}{K_1} + \frac{L_2}{K_2}} \quad (\text{Ec. 4-3})$$

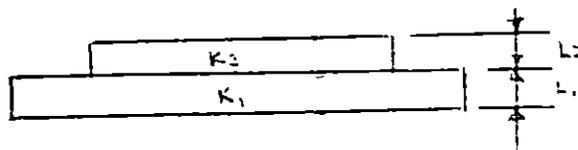


Fig. 4-2 Tapadera inferior del Horno

Donde:

$$L1 = 0.25" = 0.020083 \text{ pies}$$

$$L2 = 1.187" = 0.09892 \text{ pies}$$

$$K1 = 41.5 \text{ BTU/h-pie-}^\circ\text{F}$$

$$K2 = 0.70 \text{ BTU/h-pie-}^\circ\text{F}$$

Entonces:

$$q = \frac{\left[\frac{(4.09)^2}{2(144)} \right] (1832 - 100)}{\frac{0.02083}{41.5} + \frac{0.09892}{0.70}}$$

$$q = 2228.568 \text{ BTU/hr.}$$

4.3.0 TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCION

La convección es la transferencia de calor por los mecanismos combinados de mezcla de fluidos (líquidos y gases) y por el proceso adicional de transporte de ese calor a los alrededores.

4.3.1 CALCULO DEL CALOR POR CONVECCION

El cálculo se realiza para la superficie del Horno que se toma como de un cilindro y la superficie de las sales en contacto con el ambiente. Como la base no tiene contacto con el aire no pierde calor por convección.

Por lo tanto:

a) Superficie lateral:

$$H = C (T_1 - T_0)^{1.25} \quad (\text{Ec. 4-4})$$

donde:

H : Razón de transferencia de calor.

C : Constante que depende de la forma y posición de la superficie. Para cilindros con $R=6"$, $C = 0.35$ (se toma de la figura 4-1)

T_1 : Temperatura en la cámara de combustión

T_0 : Temperatura del ambiente

Luego:

$$H = 0.35 (1832 - 100)^{1.25}$$

$$H = 3910.685 \frac{\text{BTU}}{\text{PIE}^2 - \text{hr}}$$

Entonces:

$$q = HA$$

$$q = 3910.685 [618.2654 / (12)^2]$$

$$q = 16,790.565 \text{ BTU/hr}$$

b) De las sales:

Se supone : $T_5 = 950 \text{ }^\circ\text{C}$ (1942 $^\circ\text{F}$)

$C = 0.1$ (de la figura 4-1, se toma por aproximación)

Entonces:

$$q = HA = C(T_5 - T_0)^{1.25} A$$

$$q = 0.1 (1942 - 86)^{1.25} \times \frac{82.290}{(12)^2}$$

$$q = 603.689 \text{ BTU/hr.}$$

4.4.0 TRANSFERENCIA DE CALOR POR RADIACION

La radiación es la emisión de energía en la forma de onda electromagnética.

Todos los cuerpos sobre el cero absoluto radian. La radiación incidente sobre un cuerpo puede ser absorbida, reflejada y transmitida. En la conducción y la convección, la transferencia de energía se da de partícula a partícula por contacto directo.

4.4.1 CALCULO DEL CALOR POR RADIACION

Las pérdidas por radiación son debidas a las paredes exteriores del horno.

Aplicando la ecuación:

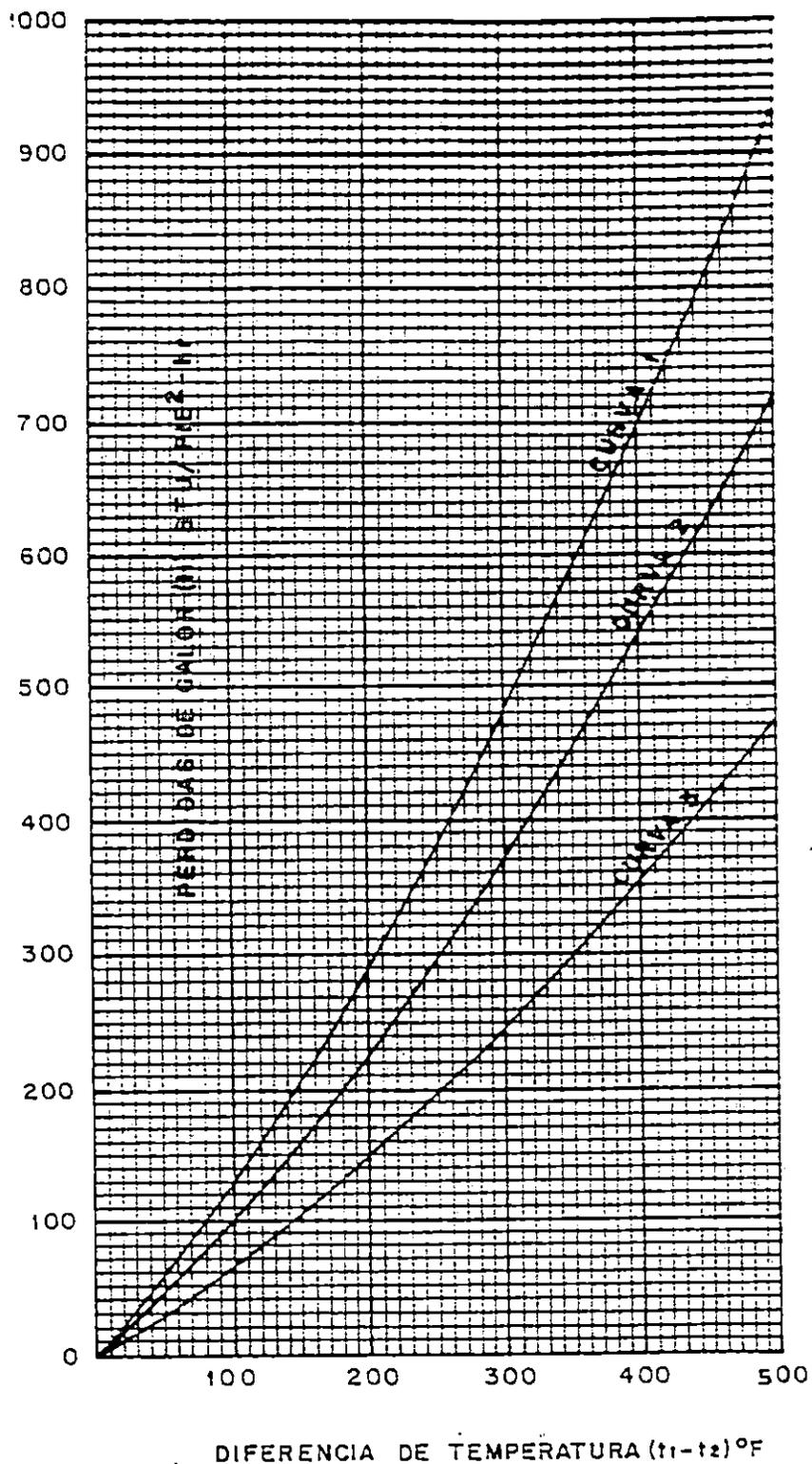


FIG.4-1 TRANSFERENCIA POR COVECCION EN AIRE QUIETO

- CURVA 1: SUPERFICIE HORIZONTAL CALIENTE HACIA ARRIBA, $C=0.39$
 CURVA 2: SUPERFICIE VERTICAL O FORMA IRREGULAR SIN PARTES SALIENTES, $C=0.3$
 CURVA 3: SUPERFICIE CALIENTE HORIZONTAL HACIA ABAJO, $C=0.2$

$$q = 0.173 A [(T_1/100)^4 - (T_2/100)^4] \text{ BTU/hr} \quad (\text{Ec.4-5})$$

a) Pared del Cilindro:

$$q = 0.173 [2(4.09/12)(9.84/12)] [(100+460/100)^4 + (86+460/100)^4]$$

$$q = 28.7748 \text{ BTU/hr}$$

b) Por las sales:

$$q = 0.173 [(4.09/12)^2] [(950 + 460/100)^4 + \left(\frac{86+460}{100} \right)^4]$$

$$q = 2439.3792 \text{ BTU/hr}$$

4.5.0 PERDIDAS TOTALES DE CALOR

Despues de haberse efectuado los cálculos parciales del calor perdido por el horno, según los tres tipos de propagación calórica, para conocer a cuánto asciende esta cantidad de energía, solo basta sumar:

$$q_t = q \text{ conducción} + q \text{ convección} + q \text{ radiación}$$

$$q_t = (8333.06 + 2228.568) + (16790.565 + 603.689) +$$

$$(28.7748 + 2434.3792)$$

$$q_t = 30,419.036 \text{ BTU/hr.}$$

CAPITULO V
ANALISIS ENERGETICOS DE LA INSTALACION

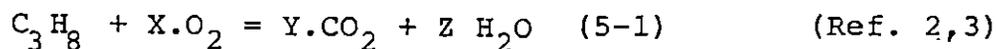
5.0.0 . CALCULOS DE LA COMBUSTION

Los cálculos de combustión son el punto de partida para todo el diseño y determinaciones del funcionamiento del horno y sus partes componentes. Con ésto se establece:

- i) Las cantidades de los constituyentes involucrados en la química de la combustión.
- ii) La cantidad de calor liberado.
- iii) La eficiencia del proceso de combustión bajo las condiciones ideales y reales.

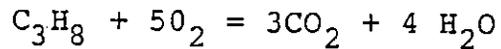
5.1.0 CALCULO DE OXIGENO NECESARIO PARA LA COMBUSTION DEL PROPANO.

Para proceder, se establece el siguiente planteamiento:



Después del balance se hallan los valores constantes de los coeficientes, quedando escrita la ecuación -- así: (Ref. 2, 3):





$$44\text{lb} + 160\text{ lb} = 132\text{ lb} + 72\text{ lb} \quad (5-2)$$

$$1\text{ lb} + 3.64\text{ lb} = 3\text{ lb} + 1.64\text{ lb}.$$

Las expresiones anteriores hablan por sí solas, por ejemplo, por cada pie cúbico de propano, debemos proporcionarle una cantidad teórica de oxígeno de 5 pies cúbicos, para que resulte la combustión, resultando 3 pies cúbicos de CO_2 y 4 pies cúbicos de agua..

De la tabla 5-1 se obtiene el calor resultante de la -- combustión completa del propano: 2,480.10 BTU/pie³ o en una base de peso: 21,670 BTU/lb de combustible. Estas cifras corresponden al valor superior de combustión, mientras que el valor inferior es de 19,968 BTU/lb de propano y de 2,395 BTU/pie³ de propano.

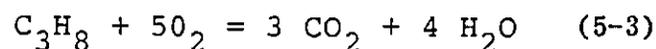
TABLA 5-1
CALORES DE COMBUSTION

COMBUSTIBLE	SIMBOLO QUIMICO	VALOR DE CALOR SUPERIOR BTU		VALOR DE CALOR INFERIOR BTU	
		Por lb.	Por Pie	POR Lb	Por Pie
Carbón a CO	C	14100	-	-	-
Carbón a CO ₂	C	3960	-	-	-
CO a CO ₂	CO	4345	316.0	-	-
Azufre a SO ₂	S	3980	-	-	-
Hidrógeno	H ₂	61100	319.0	51593	270.0
Metano	CH ₄	23875	994.7	21518	896.0
Etano	C ₂ H ₆	22329	1742.6	20431	1594.5
Propano	C ₃ H ₈	21661	2599.0	19944	2385.0
Butano	C ₄ H ₁₀	21316	3215.6	19679	2968.7
Pentano	C ₅ H ₁₂	21095	3950.2	19513	3654.0
Hexano (líquido)	C ₆ H ₁₄	20675	-	19130	-
Octano (líquido)	C ₈ H ₁₈	20529	-	19029	-
N-Decano (líquido)	C ₁₀ H ₂₂	20375	-	19175	-
Etileno	C ₂ H ₄	21635	1576.1	20276	14.77.4
Propano (propileno)	C ₃ H ₆	21053	2299.4	19683	2151.3
Acetileno (etino)	C ₂ H ₂	21500	1451.4	20734	1402.0
Benceno	C ₆ H ₆	18188	3687.5	17446	3539.3
Tolveno	C ₇ H ₈	18441	4410.1	17601	4212.6
(metil-benceno)	CH ₂ O	18441	4410.1	17601	4212.6
Metanol (alcohol-etílico)	C ₂ H ₆ O	9758	-	8570	-
Etanol (alcohol-etílico)	C ₂ H ₆ O	12770	-	11531	-
Naftaleno (sólido)	C ₁₀ H ₈	17310	-	13110	-

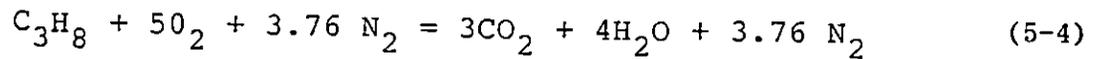
* para 60°F y 14.7 psia multiplicar po 1.0154 (Ref. 4)

5.1.1 CALCULO DEL AIRE TEORICO REQUERIDO PARA LA COMBUSTION

La ecuación de combustión del propano es:



Un volumen de oxígeno en el aire está acompañado de 3.76 N₂, por lo cual la ecuación cambia.



De donde el volumen mínimo de aire requerido para la combustión de un pie³ de propano es:

$$V \text{ aire} = \frac{5}{0.21} = 23.81 \text{ pies}^3$$

ya que el aire consiste del 21% (por volumen) de oxígeno.

La relación aire-combustible es en consecuencia:

$$r \text{ a/c} = \frac{23.81 \text{ pies de aire}}{1 \text{ pie}^3 \text{ de C}_3 \text{ H}_8}$$

$$r \text{ a/c} = 23.81$$

Similarmente como la composición en una base de libras de aire es de 23% de oxígeno y de 77% de Nitrógeno, - la máxima cantidad requerida para la combustión de 1 libra de propano para la ecuación 5-2 . es:

$$\frac{3.64}{0.23} = 15.69 \text{ lbs de aire.}$$

5.2.0 CALCULO DEL GASTO DE PROPANO.

Tenemos la ecuación:

$$qt + maCp (Ti-Te) = Qfprop \times Mprop \times Nc \quad (5-5)$$

Donde:

Qf : Potencia calorífica del propano = 19,944 BTU/lb

Nc : Eficiencia de combustión del propano = 95%

Cp : Calor específico del aire a presión constante
= 0.24 BTU/lb - °F

T : Temperatura en el interior del horno = 1000°C
(1832°F)

Te : Temperatura en el exterior del horno = 30°C (80°F)

qt : Calor total

Ma : Masa del aire = r a/c x Mprop.

Entonces:

$$qt + r a/c \times Mprop \times Cp(Ti-Te) = Qfprop \times Mprop \times Nc \quad (5-6)$$

$$Mprop = \frac{qt}{[QfNc - r a/c \times Cp(Ti-Te)]}$$

$$Mprop = \frac{30419.036}{[19,944(0.95) - (15.69)(0.24)(1832-86)]}$$

$$Mprop = \underline{2.4586} \frac{\text{Lb}}{\text{hr}}$$

El volumen que ocupa esta masa en tránsito, a las condiciones de 86°F de temperatura y una presión de 14.7 Lb. por pulgada cuadrada, se calcula así:

$$V = \frac{M R T}{P} \quad (5-7) \quad \text{Ref. 5}$$

Donde la constante R del propano tiene un valor de:

$$R = 35 \frac{\text{Pie} - \text{Lb}}{\text{Lb} - ^\circ\text{F}}$$

Entonces:

$$V = \frac{2.4586 \times 35 \times 86}{14.7 \times 144}$$

$$V = 3.4960 \frac{\text{pies}^3}{\text{hr}} \quad V = 1.678 \frac{\text{pulg}^3}{\text{seg}}$$

Donde:

V : es el gasto de propano.

5.3.0 CALCULO DE LA TUBERIA DE GAS PROPANO.

Los líquidos, los vapores y los gases tienen que ser transportados en tuberías, una operación que involucra gasto de energía, y es necesario conocer los principios de flujo de fluidos para poder diseñar eficientemente las líneas de combustible.

En muchos casos es conveniente utilizar una fórmula - en la que la razón de flujo está en términos de volumen del fluido en vez de la velocidad lineal, teniendo la ecuación de Fanning (Ref. 2):

$$A_p = f \frac{L}{D} \frac{W V^2}{2g} \quad (5-8)$$

Donde:

f : Coeficiente de fricción.
 W : Peso específico
 D : Diámetro de tubería.
 V : Velocidad del combustible
 L : Longitud de tubería.
 g : Gravedad

Para gases con baja caída de presión:

$$A_p = 3.34 \times 10^{-6} \frac{f L W Q^2}{D^5} \text{ psi} \quad (5-9)$$

Donde: Q : Gasto de combustible

Si se sustituye la gravedad específica (Ga) del gas y del aire a la misma temperatura y presión en vez de W, de tal forma que:

$$G_a = \frac{W_{\text{gas}}}{W_{\text{aire}}} \quad (5-10)$$

Y se expresa la caída de presión en pulgadas de agua denotada por P, tenemos:

$$Q = 376 \times \sqrt{\frac{P D^5}{f L G_a}} \quad (5-11)$$

Esta es la fórmula de Lacey (ref 2) y se utiliza frecuentemente para flujo de gases a presiones medias -- temperaturas cercanas a la atmosférica.

Para utilizar la fórmula de Lacey, se debe determinar f , que se requiere el número de Reynolds. Se asume un valor de f razonable. Usando la fórmula de Pole (ref. 2) que tiene un valor de $f = 0.026$

Entonces:

$$Q = 2340 \times \sqrt{\frac{APD^5}{L G_a}} \quad (5-12)$$

Despejando el diámetro:

$$D^5 = \frac{Q^2 L G_a}{(2340)^2 A_p} \quad (5-13)$$

Donde:

$$Q = V_p = 3.4960 \text{ pies}^3/\text{hr} = 1.678 \frac{\text{pulg}^3}{\text{seg}}$$

$$L = 3 \text{ pies} = 36 \text{ pulg.}$$

$$G_a = 1.53$$

$A_p = 0.55''$ (Se considera que es la mejor presión de entrega para los artefactos: 5% de 11" de c.a.)

Sustituyendo:

$$D^5 = \frac{(3.4960)^2 \times (3) \times (1.53)}{(2340)^2 \times (0.55)}$$

$$D = \underline{0.1132 \text{ pulg.}}$$

Para resolver el número de Reynolds, se toma la viscosidad del propano como $N = 0.008$ centipoises.

También se necesita el valor de la densidad en libras de masa por pies³.

$$P_{\text{prop}} = G_a \times P_a = 1.53 \times 0.0765 = 0.11628 \text{ lbm/pies}^3$$

Entonces:

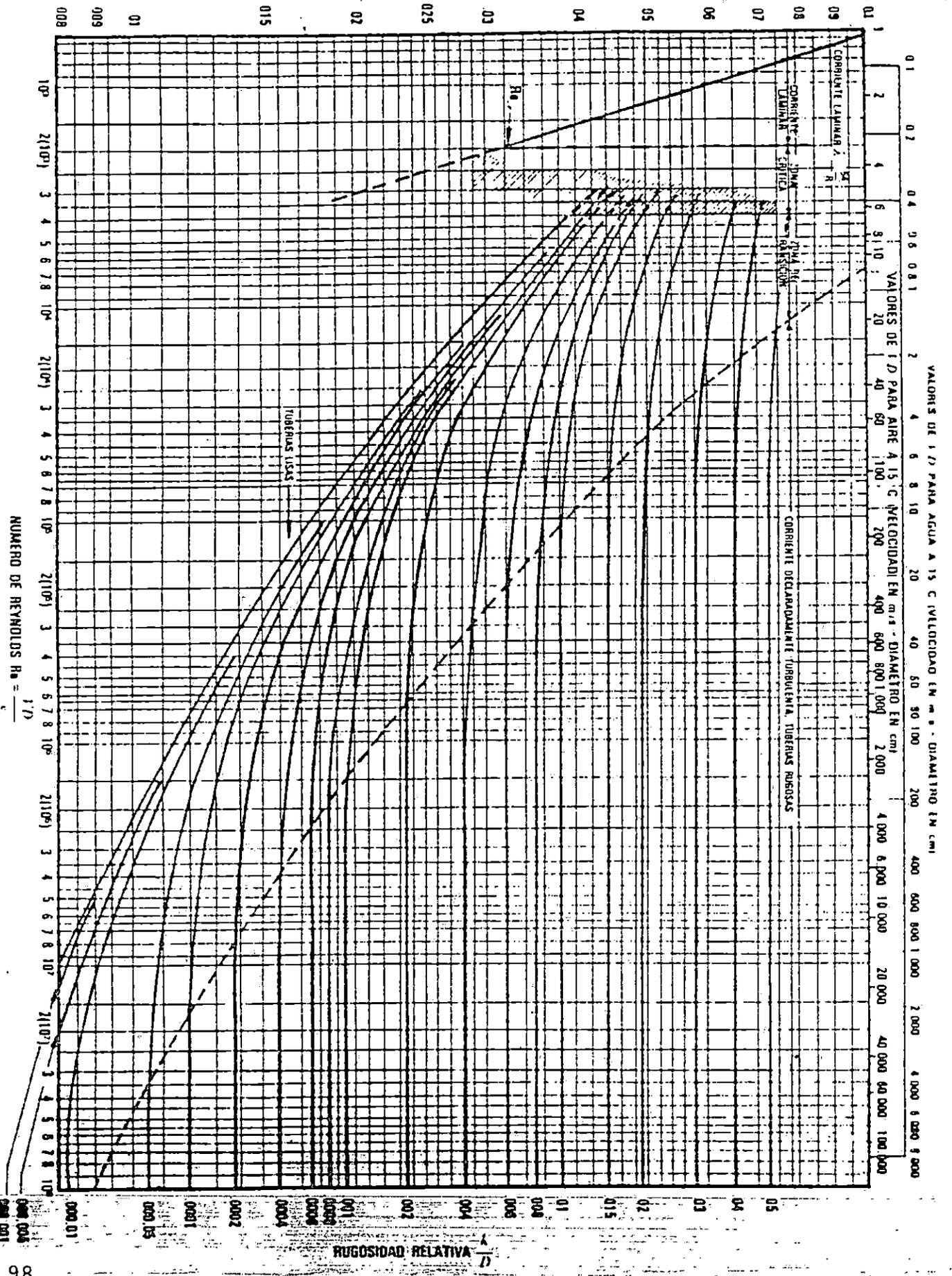
$$Re = 6.315 \frac{\dot{V}_p P}{DN} = \frac{6.315 \times 3.4960 \times 0.11628}{0.1132 \times 0.008} = 2834.741$$

$$\frac{E}{D} = \frac{5 \times 10^{-6}}{0.1132} = 4.417 \times 10^{-5} \quad (\text{para tubería de cobre } E = 5 \times 10^{-6})$$

Del gráfico de Moody obtenemos:

$$f = 0.045 \quad (\text{Ver figura 5-1})$$

COEFICIENTE DE ROZAMIENTO $\lambda = \frac{H}{L} \frac{v^2}{2g}$



NUMERO DE REYNOLDS $Re = \frac{vD}{\nu}$

RUGOSIDAD RELATIVA $\frac{k}{D}$

Usando la fórmula de Lacey:

$$D^5 = \frac{Q^2 fL Ga}{(376)^2 Ap}$$

$$D^5 = \frac{(3.4960)^2 \times 0.045 \times 3 \times 1.53}{(376)^2 \times 0.55}$$

$$D = 0.126 \text{ pulg.}$$

$$D = \frac{1}{8} \text{ pulg.}$$

5.4.0 CALCULO DEL GASTO DE AIRE.

La línea de aire ayuda a la combustión para que se desarrolle de un modo completo, si por ella circula el aire en la relación adecuada.

La línea de aire consiste en un conducto al que está acoplado un ventilador que fuerza la circulación del aire hacia la cámara de combustión.

Justo antes que se de la combustión por la tubería de alimentación del quemador circula un caudal de propano igual a 3.4960 pie³/hr, el que tendrá que combinarse con un caudal de aire del 10% de exceso.

Por lo tanto:

$$V_a = r_{a/c} \times V_p \times 1.10 \quad (5-14)$$

Donde: $r_{a/c}$ = relación aire combustible; V_p = gasto propano.

$$V_a = 23.81 \times 3.4960 \times 1.10$$

$$\underline{V_a = 91.5637 \text{ pies}^3/\text{hr}}$$

Para minimizar las pérdidas por fricción se toma una tubería de diámetro mayor que la tubería del propano.

Por lo tanto, se toma:

$$D = 1\frac{1}{2} \text{ pulg.}$$

La velocidad del aire se deduce del principio de continuidad:

$$V_{\text{aire}} = \frac{V_a}{A} \quad (5-15)$$

$$V_{\text{aire}} = \frac{V_a}{\frac{\pi D^2}{4}} = \frac{4 V_a}{D^2} = \frac{4 (91.5637)}{(1.5/12)^2}$$

$$\underline{V_a = 74.6128 \text{ pies/hr.}} \quad \text{o} \quad V_a = 2.0725 \text{ pul/seg}$$

5.5.0 EL VENTILADOR.

Es la bomba de aire, la máquina que crea una diferencia de presión para imprimir movimiento al aire que llegará en la proporción adecuada al quemador del horno.

5.5.1 TIPOS DE VENTILADORES.

Generalmente se clasifican como ventiladores centrífugos o ventiladores de flujo axial, dependiendo de la dirección del flujo de aire a través del impulsor.

5.5.2 LEYES DE LOS VENTILADORES.

Relacionan las variables de funcionamiento para cualesquiera series de ventiladores dinámicamente similares. Las variables involucradas son el diámetro (D) del ventilador, la velocidad rotacional (N), la densidad del gas (P), la razón del flujo (Q), la presión (Ps), la potencia (Pot) sea al aire (Pe) o al eje (Ps) y la eficiencia mecánica (nm).

5.5.2.1 LEYES.

- 1- Muestra el efecto de cambiar el tamaño, la velocidad o la densidad sobre el flujo volumétrico, la presión y el nivel de potencia.
- 2) Muestra el efecto de cambiar el tamaño, la presión o la densidad sobre el caudal, la velocidad y la potencia.
- 3) Ilustra el efecto de variar el tamaño, el caudal

o la densidad sobre la velocidad, la presión y la potencia.

Las leyes de los ventiladores son expresiones matemáticas, del hecho que cuando dos ventiladores son dinámicamente similares, sus curvas de rendimiento son homólogas.

En la figura 5-2 se muestran las curvas característicos de los ventiladores.

5.5.3 SELECCION DEL VENTILADOR.

El ventilador deseado debe proporcionar el aire necesario de combustión, por lo cual se considerará necesaria la siguiente información:

- a) Volumen estático requerido (CFM)
- b) Presión estática del ventilador (SP)
- c) El tipo de servicio.

5.5.3.1 VOLUMEN DE AIRE REQUERIDO.

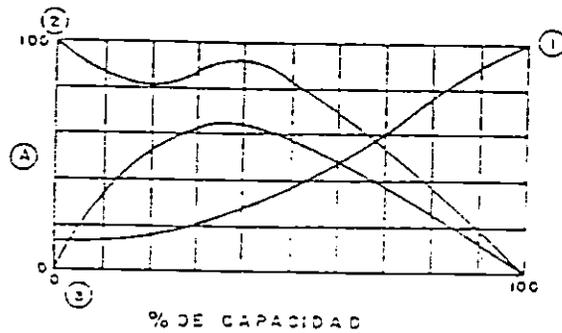
Este fue calculado antes y es $Q = 91.5637 \text{ pie}^3/\text{hr.}$

Expresando en $\text{pies}^3/\text{min.}$ (CFM) es $\text{CFM} = 1.526$

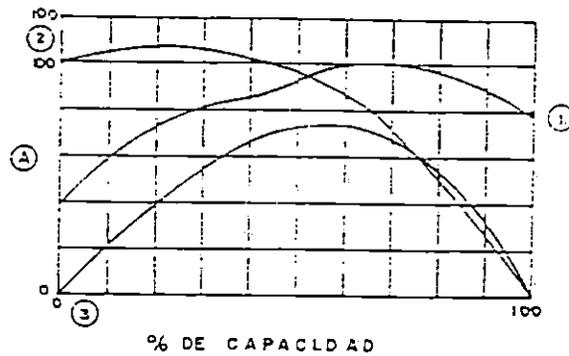
5.5.3.2 PRESION ESTATICA DEL VENTILADOR.

Para evaluar la presión estática, es necesario conocer la longitud de tubería y la longitud equivalente de -- los accesorios, y aplicar después las ecuaciones de -- flujo de fluidos. Esta longitud será aproximadamente:

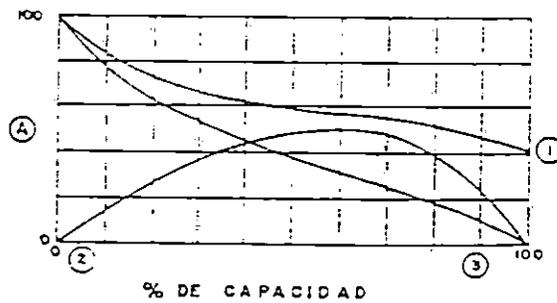
$$L = 4 \text{ pies.} = 48 \text{ pulg.}$$



VENTILADOR CON PALETAS
HACIA ADELANTE



VENTILADOR CON PALETAS
HACIA ATRAS



VENTILADOR DE PROPELA

- (1) POTENCIA
 - (2) PRESION ESTATICA
 - (3) EFICIENCIA ESTATICA
 - (4) % DE PRESION DE CORTE ESTATICA
- POTENCIA Y EFICIENCIA ESTATICA

Fig. 5-2 Curvas Características de los Ventiladores.

Aplicando la ecuación de Fanning .(ecuación 5-8) se tiene:

$$A_p = f \frac{L}{D} \frac{W V^2}{2 g.}$$

También:

$$Re = 6.315 \frac{V P}{D N} \quad \text{donde: } P = 0.0765 \text{ Lb/pie}^3 \text{ de aire.}$$

N = Viscosidad cinemática del
aire = 0.006 en centistokes.

$$Re = 6.315 \frac{91.5637 \times 0.0765}{1.5 \times 0.006} = 4914.91$$

$$\frac{E}{D} = \frac{500 \times 10^{-6}}{1.5} = 3.333 \times 10^{-4}$$

Del diagrama de Moody: (teniendo Re y E/D):

$$f = 0.041 \quad (\text{Ver figura 5-1})$$

Entonces:

$$A_p = \frac{0.041 \times 4 \times 0.0765 \times (2.0725)^2}{2 \times 32.2 \times (1.5/12)}$$

$$A_p = 6.6941 \times 10^{-3}$$

De la tabla 5-2, muestra las razones de densidad del -
aire, interpolando la temperatura supuesta a la sali-
da del recuperador (500°F) y 1800 pies de altitud de

San Salvador, tenemos: 0.5319

TABLA 5-2
RAZON DE DENSIDAD DEL AIRE A DIFERENTES
ALTITUDES Y TEMPERATURAS

TEMPERATURA AL AIRE (°F)	ALTITUD SOBRE EL NIVEL DEL MAR (pies)					
	0	1000	2000	3000	4000	5000
	PRESION MAROMETRICA EN PULGADAS DE MERCURIO					
	29.92	28.86	27.82	26.82	25.4	24.90
70	1.000	0.964	0.930	0.896	0.864	0.832
100	0.446	0.912	0.880	0.848	0.818	0.787
150	0.869	0.838	0.808	0.770	0.751	0.723
200	0.803	0.774	0.747	0.720	0.694	0.668
300	0.697	0.672	0.648	0.624	0.604	0.580
400	0.616	0.594	0.513	0.552	0.532	0.513
500	0.552	0.532	0.513	0.495	0.477	0.469
600	0.500	0.482	0.465	0.448	0.432	0.416
650	0.477	0.460	0.444	0.427	0.412	0.397

La presión estática cambia, por tanto a:

$$Ap = Sp = \frac{6.6941 \times 10^{-3}}{0.5319}$$

$$Sp = 1.2585 \times 10^{-2} \text{ Pie de columna de H}_2\text{O}$$

Por lo tanto, el ventilador adecuado debe cumplir que maneje un caudal de 1.526 CFM y una presión estática de 1.2585×10^{-2} pie de columna de agua.

CAPITULO VI
INSTRUMENTAL DE MEDICION

6.0.0 MEDIDAS DE TEMPERATURAS

Uno de los problemas de los metalurgistas es mantener uniforme la temperatura en la carga de un horno, dependiendo del tipo de éste. Las razones para alcanzar una temperatura en la carga, y mantenerla constante son sencillas. Para cada proceso determinado (laminación, forja, doblado, - extruido, recocido y tratamiento térmico) y para cada material. Existe una temperatura mínima que debe obtenerse para que el proceso sea satisfactorio.

Esta temperatura debe estar de acuerdo, para que dicho valor no sea un favor negativo al convertirse en un desperdicio de calor, y no solo eso, sino que también tiene a veces, efectos indeseables, tales como oxidación excesiva, - descarbonización y averías en el proceso.

Los instrumentos y aparatos empleados para medir y -- controlar la temperatura han alcanzado un alto grado de -- perfección, pero no dan una lectura de temperatura absoluta y deben calibrarse antes de usarlos. Para lograr calibraciones reproducibles en diferentes lugares; se han establecido la escala internacional de temperaturas, que corresponden tan aproximadamente como es posible experimentalmente, con la escala centígrada termodinámica (calsios), que

se define en función de ciertas temperaturas reproducibles.

Los puntos fijos fundamentales son: el de congelación 0°C y el de ebullición 100°C de la sustancia agua, respectivamente.

Los instrumentos usados en la medición de altas temperaturas en los hornos son: los eléctricos y los de radiación. Ref. 10

6.1.0 PIROMETROS DE RESISTENCIA ELECTRICA.

Estos instrumentos se basan sobre el principio, de que la resistencia de un alambre metálico varía al elevar su temperatura. El metal usado generalmente es el platino en forma de un alambre muy fino, devanado sobre una forma fina de MICA, e insertado en un tubo refractario. Es un instrumento tipo termómetro, cuyo principio es observar la variación de la resistencia del material en un circuito opuesto (niheatstore) y la temperatura se determina por medio de una gráfica de calibración previamente hecha.

TERMOPARES.

Es un aparato termoeléctrico casi ideal. La F.E.M. originada bajo cierto grupo de condiciones dadas, es altamente reproducibles, la unión medidora de temperatura en volúmenes pequeños que finalmente, se indican en función de un voltaje eléctrico, por lo tanto la indicación y el control de la temperatura a distancia, es fácil de efectuar. La fuerza electromotriz de un termopar; para una temperatura dada de un horno, es función de la composición del material de los alambres. Si se desea tener una fuerza electromotriz elevada -- con baja temperatura, se escogen el hierro y el constantan (una aleación de Níquel y Cobre).

El límite superior de temperatura para esta combinación son los 650°C.

CARACTERISTICAS DE LOS TERMOPARES COMUNES (Ref. 6)
 TABLA 6-1

Termopar	Composición química		Sensibilidad (milivolios/°C)	Región de temperaturas (°C)	Temp. máx. (°C)
Cobre-Constantano	Cobre puro	Constantano 60% Cu 40% Ni	0.054	-200-300	600
Hierro-Constantano	Hierro puro	Constantano 60% Cu 40% Ni	0.054	-200-750	1 000
Cromel-Alumel	Cromel 90% Ni 10% Cr	Alumel 95% Ni 2% Al 3% Mn	0.041	-200-1200	1350
Platino-platino-rodio	Platino puro	Platino-rodio 90% Pt 10% Rh	0.0095	0-1450	1 700

* Solamente para periodos de exposición muy cortos.

6.2.1 PARTES DE UN TERMOPAR.

Básicamente el principio del termopar, se compone de las siguientes partes: (Fig. 6-1)

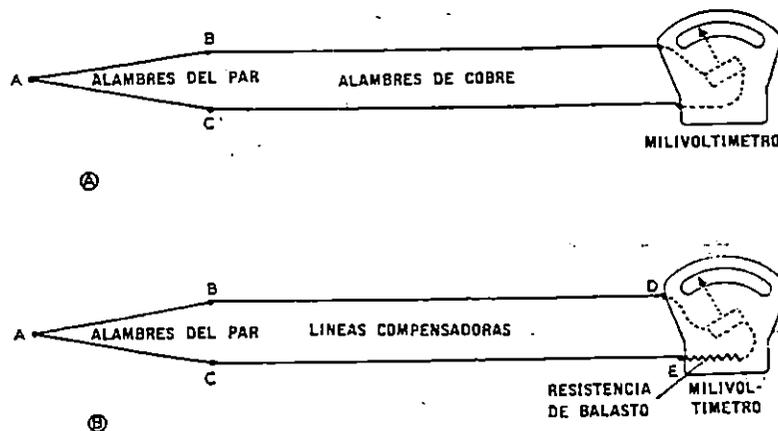


Fig. 6-1 Uso de líneas compensadoras

- a) Dos alambres desimilares de composición adecuada que produzcan una F.E.M. (Efecto Peltier Thomson) en el circuito, lo bastante grande para ser medida y capaz de funcionar a la temperatura más alta requerida sin fundirse, sin excesiva oxidación o fluctuación del rendimiento eléctrico.

- b) Aislamiento refractario o tubo protector. Los gases que se generan en los hornos (oxígeno, monóxido de carbono, compuestos de azufre) corroen o fragilizan los metales de que están compuestos - los termopares. Por esta razón los elementos se introducen en un tubo protector, que a menudo -- consiste en dos tubos concéntricos. El tubo interior es metálico y el exterior es de cerámica. - Además se evita que los alambres se toquen, excepto en la junta caliente.

- c) Un instrumento de medida: conectado por el extremo frío que puede ser milivoltímetro, galvanóme-
tro o potenciómetro.

6.3.0 PIROMETROS DE RADIACION.

Los pirómetros de radiación son los únicos instrumen-

tos que se emplean para medir temperaturas por encima de aquellas a las cuales se puedan usar los termopares y frecuentemente son más convenientes que éstos a más bajas temperaturas.

6.4.0 PIROMETROS OPTICOS.

Utilizan la emisión de la energía radiante del cuerpo caliente para medir su temperatura, donde los brillantes de una longitud de onda de una luz emitida, por el objeto caliente, comparándola visualmente con alguna fuente patrón.

Recibe el nombre de pirómetro óptico de desaparición de filamento por estar formado por un telescopio productor de la imagen del objeto caliente sobre el plano de un filamento, cuya brillantez pueda ajustarse a un método para medir la corriente en el filamento y un filtro que permita hacer la comparación de brillantez a una longitud de onda de luz dada (generalmente 0.63 micrones) (Ver figura 6-2)

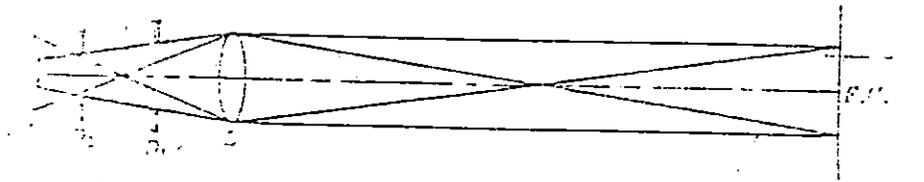


Fig.6-2. Pirómetro de radiación tipo de lente. La lente L enfoca la energía proveniente de la fuente F.C. sobre el disco del termopar D. D₁ y D₂ son los diaframas utilizados para definir la fuente.

6.5.0 PIROMETROS DE RADIACION TOTAL.

Utilizan la emisión de la energía radiante del cuerpo caliente para medir su temperatura, donde la radiación dentro de una banda de longitudes de onda amplia, se enfoca sobre un absorbente, cuyo aumento de temperatura se mide con un termopar de vacío o termopila.

Como los pirómetros de radiación total requieren de una fuente grande de temperatura uniforme, es más difícil que calibrarlos con seguridad, y la exactitud de la calibración, es más baja que la obtenida por un termopar o con un pirómetro óptico.

Se deben hacer correcciones por emisividad para pirómetros de radiación total, pero como entran en juego diferentes longitudes de onda, las correcciones serán diferentes a las usadas en pirómetros ópticos.

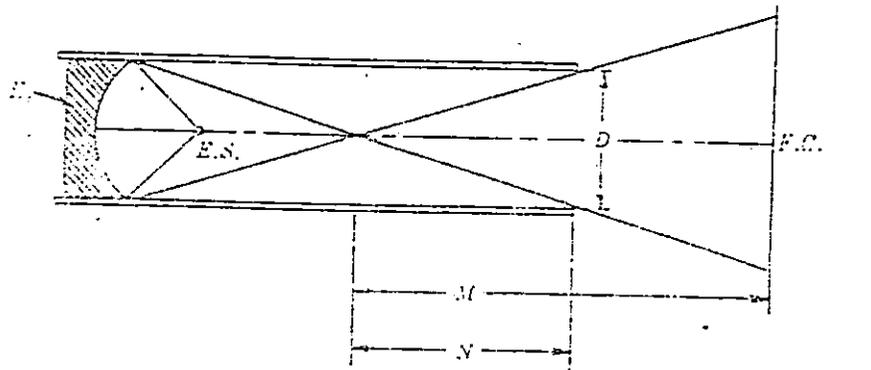
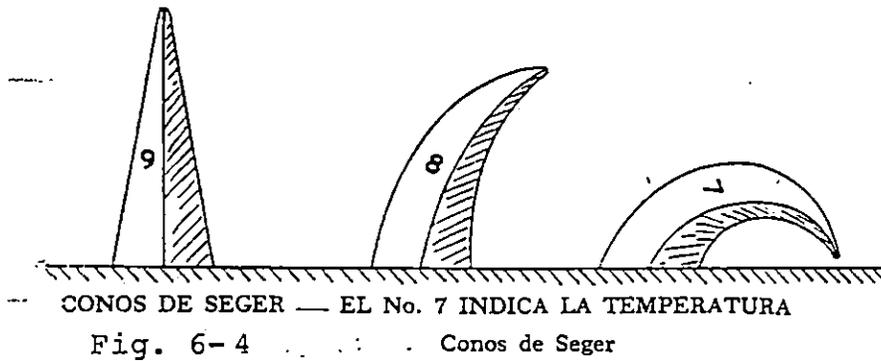


Fig. 6-3 Pirómetro de radiación tipo espejo. La fuente de calor F.C. se enfoca sobre el elemento sensitivo E.S. con el espejo E. Véase el texto, para detalles.

6.6.0 OTROS METODOS DE MEDICION DE TEMPERATURA.

Durante muchos años los ceramistas han medido temperaturas con conos de Seger, en que cuerpos cerámicos de temperatura de ablandamiento, perfectamente conocida, se introducen en el horno al tiempo de quemado.

La temperatura se mide determinando cual de una serie de conos de seger, se deforman hasta alcanzar una forma tipo durante el tiempo de quemado. Estos conos no solo miden la temperatura, sino una combinación de tiempo y temperatura, ya que se requiere de algún tiempo para que se haga la deformación tipo, siendo por supuesto, este tiempo, función de la temperatura. (Ver figura 6-4)



Recientemente, se puede obtener en la industria comercial una serie de mezclas de sustancias (tamplistiks) que permiten una determinación a groso modo de la temperatura de cuerpos calientes. Estas mezclas se pueden encontrar en forma de lápices, píldoras o pinturas que se aplican, y luego se deban secar y permiten una estimación aproximada de la temperatura.

CAPITULO VII
COMBUSTIBLES
(GAS PROPANO)

7.0.0 COMBUSTIBLE: EL GAS PROPANO

El Propano es un gas licuado del Petróleo, consistente en una mezcla de hidrocarburos extraída primordialmente del gas natural "húmedo" y que se vende comunmente en El Salvador con el nombre de "Tropigas" y "Shellane", y se encuentran en cilindros de 10.5, 35, 75 y 100 libs., para uso doméstico, y para servicios de mayor capacidad en tanques normalizados con el código ASME para diferentes capacidades.

7.1.0 EFECTO DE VAPORIZACION.

A temperatura ambiente el propano coexiste dentro de los envases a presión como líquido y vapor. El calor del aire exterior por medio de las paredes del cilindro, vaporiza el propano aumentando la presión interna responsable del flujo del gas hacia el quemador cuando se abre la válvula de cierre. Es decir que dependiendo de la superficie mojada por el propano dentro del cilindro, así será el calor disponible para vaporizarlo. La tabla N°7-1 muestra la cantidad de vaporización que puede esperarse de un cilindro de propano de 100 libras a varias temperaturas y varios porcentajes de contenido.

TABLA N° 7-1
 EXTRACCION MAXIMA CONTINUA EN PIES CUBICOS POR HORA
 A VARIAS TEMPERATURAS EN GRADOS FAHRENHEIT

Lbs de C_3H_8 en el Cilindro.	Pies ² de Area de Superficie mojada	40°	50°	60°	70°
		100	12.10	85.8	94.5
90	11.05	80.0	85.8	103.0	111.0
80	10.00	72.0	80.6	85.8	94.0
70	8.95	64.0	72.0	79.6	85.8
60	7.90	56.0	63.5	70.4	77.0
50	6.88	50.0	55.8	61.7	67.0
40	5.82	42.0	47.2	52.4	56.6
30	4.80	34.0	38.6	43.0	47.2
20	3.77	27.5	30.0	33.4	36.9
10	2.73	19.7	22.3	24.0	26.6

7.2.0 CANTIDAD DE DILINDROS DE GAS

Para llegar a conocer la cantidad de cilindros de gas a utilizar es importante saber los siguiente:

- i) Conocer la capacidad del crisol
- ii) El calor necesario para la cementación
- iii) Conocer el consumo por hora de propano del horno
- iv) La cantidad de horas de funcionamiento.

El calor necesario Q para la cementación se encuentra por:

$$Q = (W \times C_p \times t) + (q_f \times W) \quad (7-1)$$

Donde:

W = capacidad del crisol = 25 libras

C_p = Calor específico = 0.148

t = Cambio de temperatura = 1732 °F

q_f = Calor de fusión = 117.0

Entonces:

$$Q = W (C_p \times t + q_f)$$

$$Q = 25 (0.148 \times 1732 + 117)$$

$$\underline{Q = 9,333.4 \text{ BTU}}$$

Luego se logra conocer el tiempo necesario para la cementación, el cual es:

$$t = \frac{Q}{Q_p \times \text{Pot. calorífica del propano}} \quad (7-2)$$

Donde:

Q = Calor necesario para la cementación (BTU)

Q_p = Gasto de propano (pies³/hora)

Entonces:

$$t = \frac{9,333.4}{3.4960 \times 2590}$$

$$t = 1.03 \text{ horas}$$

$$t = 61.84 \text{ minutos}$$

Conociendo el tiempo para el cementado, se logra conocer el consumo del gas propano para 15 días de funcionamiento continuo; entonces:

$$3.6834 \frac{\text{pies}^3}{\text{hora}} \times 0.7058 \frac{\text{hr}}{\text{día}} \times 15 \text{ días} = 38.996 \text{ pies}^3$$

Como cada libra de propano es equivalente a 8.5 pies³ las necesidades en libras son:

$$\frac{38.996}{8.5} = 4.58 \text{ libras}$$

En base a lo anterior se puede ocupar un cilindro de 25 libras o de 35 libras.

7.3.0 CONTROL DE PRESION DEL GAS

Normalmente el propano contenido en los cilindros de gas se encuentra a una presión mayor de la que los quemadores pueden aprovechar apropiadamente. Por esto,

la presión de gas en la tubería fluctúa a menudo a -- causa de las variaciones de la demanda. Una presión -- del propano excesivamente alta va en decrecimiento de la eficiencia de la operación y de seguridad en el -- horno a gas. Por tal motivo debe tenerse un medio de control antes que el gas fluya a los quemadores.

7.3.1 REGULADOR DE GAS.

Un regulador de la presión del gas es un dispositivo empleado para controlar la presión. El gas se entrega a los quemadores del orificio de la salida del regulador, a una presión única y constante no importando -- los cambios de presión a la entrada.

Un regulador debe sentir todos los cambios en la presión del gas y ser capaz de ajustar el flujo de gas -- según se necesita. El dispositivo sensible por el --- cual lo logra, es un diafragma y un resorte adosado a un disco o válvula para restringir el flujo de gas a través del asiento. La figura 7-1 muestra estos y otros componentes:

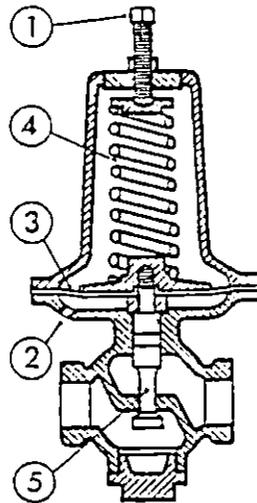


Fig. 7-1: DIAGRAMA DE UN REGULADOR DE PRESION

Donde:

- 1- Tornillo de ajuste
- 2- Conexión de la presión controlada
- 3- Diafragma
- 4- Resorte
- 5- Tapón de la válvula

7.3.2 TIPOS DE VALVULAS DE CONTROL DE PRESION

Existen tres tipos de válvulas, las cuales son:

i) Válvulas de reducción de presión:

Es una válvula auto-operada, y sirve para reducir la presión en el lado de aguas abajo.

ii) Válvulas para retener la presión:

Es una valvula auto-operada, y sirve para mantener la presión aguas arriba.

iii) Válvula de control indirecta de presión:

Es una válvula auto-operada y sirve para mantener la presión en otra tubería en la cual se ha ubicado la válvula.

7.3.3 DISEÑOS DE LAS VALVULAS DE CONTROL DE PRESION.

En vista de la variedad de técnicas usadas, algunas - válvulas de control de presión pueden tener una combinación de las siguientes características:

- a) Auto-contenida. En la cual no se hace una conexión sensora externa.
- b) Externamente a la cañería. En la cual se requiere una conexión sensora externa.
- c) Cargada por un resorte. En la cual un resorte es cargado por una fuerza opuesta a la del resorte, la cual es debida a la presión controlada impuesta sobre un diafragma o pistón.
- d) Cargada por un peso. En la cual un peso es el -

elemento de carga, al cual es opuesto por la fuerza que ejerce la presión controlada, impuesta sobre un diafragma o pistón.

7.4.0 INSTRUMENTOS DE MEDICION DE PRESION

Los manómetros o medidores de presión, por virtud de sus funciones son altamente estandarizados en la industria, y al seleccionarlos deben considerarse ciertos factores.

Los factores a considerar tienen que ver con el uso para el cual específicamente fueron diseñados, como: para aire acondicionado, equipo de baja presión, para calentadores de agua o calefacción, para medir la presión de amoníaco o aire, etc.

También se considera el medio a medir y sus características: estado, temperatura, composición, consistencia, corrosividad, abrasividad y explosividad.

Otros tipos de consideraciones, no son menos importantes, y como conclusión, se tendrá que seleccionar uno o dos manómetros para medir la presión en los tanques de gas, sin ser rigurosos en la selección, pues no operará a condiciones de altas temperaturas, ni grandes presiones, sin variaciones bruscas como tampoco ambientes corrosivos.

CAPITULO VIII

EL RECUPERADOR Y LA CHIMENEA

8.0.0 EL RECUPERADOR

Los recuperadores son precalentadores de aire o gas en contracorriente mediante conducciones adyacentes. Esto se realiza en un cambiador de ladrillo o a través y alrededor de tubos metálicos.

Las obras de ladrillo presentan el inconveniente de que tienden a desquebrajarse, pero por otra parte, actúan como un depósito de calor, lo que minimiza las fluctuaciones en la temperatura del gas que se caliente, los recuperadores metálicos, al ofrecer resistencias térmicas bajas entre el fluido caliente y el frío son teóricamente más eficaces. Los recuperadores pueden dividirse en tres clases de acuerdo al flujo de gases quemados y del aire. Estos son:

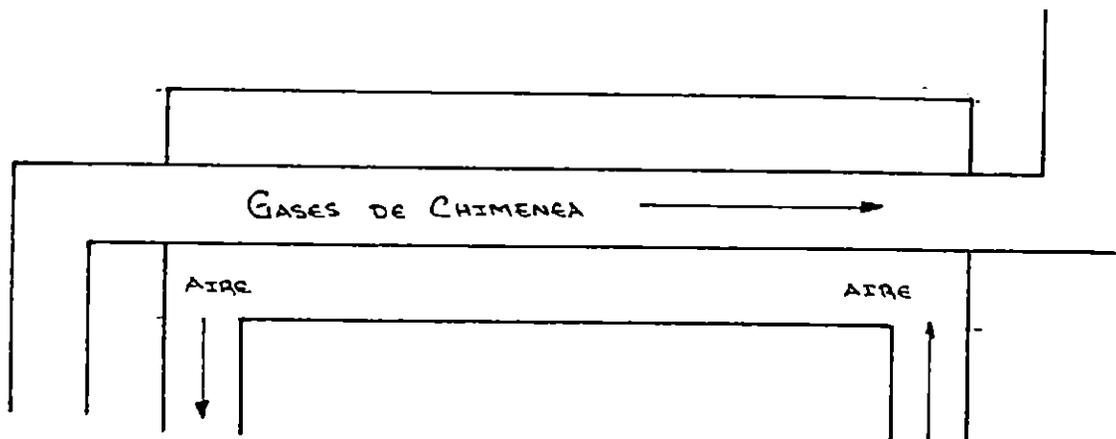


Fig. N° 8-1 Recuperador de Contracorriente

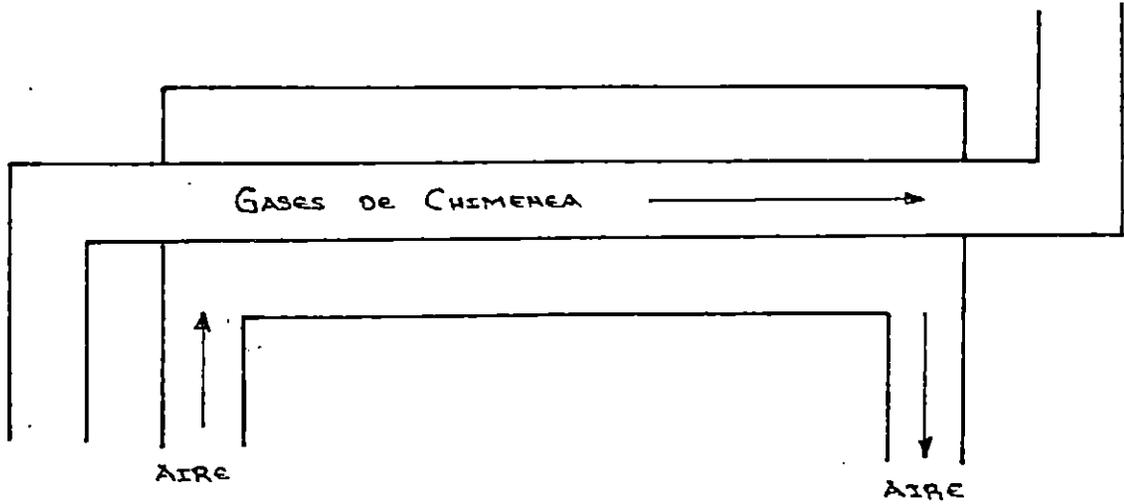


Fig. 8-2 Recuperador con flujo paralelo

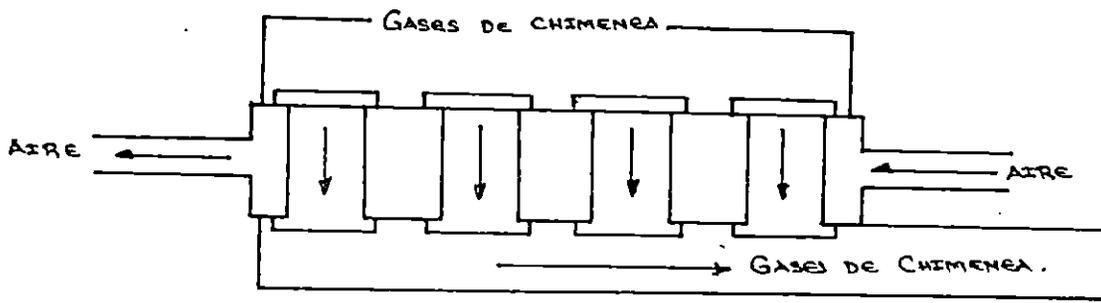


Fig. 8-3 Recuperador con flujo transversal

La ecuación de transmisión de calor en los recuperadores es (Ref. 7):

$$W_g(T_{1g}-T_{2g})C_g = AK (T'g-T'a) = W_a (T_{2a} - T_{1a}) C_a \quad (8-1)$$

Donde:

- W_g : Peso del gas que fluye en la unidad de tiempo.
 T_{1g} : Temperatura de los productos de combustión.
 T_{2g} : Temperatura de los gases quemados que salen del recuperador.
 C_g : Calor específico medio de los gases quemados.
 A : Superficie de calentamiento.
 K : Coeficiente medio de transmisión de calor.
 $T'g$: Temperatura media de los gases quemados.
 $T'a$: Temperatura media del aire.
 W_a : Peso del aire que fluye en la unidad de tiempo.
 T_{2a} : Temperatura del aire caliente.
 T_{1a} : Temperatura de entrada del aire al recuperador.
 C_a : Calor específico medio del aire.

El coeficiente K expresado en unidades (BTU/pie² h.°F) es el inverso de la suma de resistencias térmicas:

$$K = \frac{1}{R_g + R_W + R_a} \quad (8-2)$$

Siendo:

Rg : Resistencia de los gases quemados a la pared

RW : Resistencia al flujo calorífico a través de la pared.

Ra : Resistencia de la pared al aire.

8.1.0 VELOCIDAD DE LOS GASES QUEMADOS EN EL RECUPERADOR.

El volumen de los gases quemados (V_g), debe ser la suma del volumen del propano (V_p) y del aire (V_a), pero referidos a la temperatura media de los gases de combustión supuesta a 1600 °F.

$$V_g = V_p + V_a \quad (8-3)$$

$$V_g = 3.4960 + 91.5637 = 95.0597 \text{ pies}^3/\text{hr.}$$

Referido este valor a la temperatura media de los gases de combustión: (T'_g):

$$V'_g = \frac{460 + T'_a}{460 + T'_g} \times 95.0597$$

$$V'_g = \frac{460 + 86}{460 + 1600} \times 95.0597 = 25.1954 \text{ pies}^3/\text{hr.}$$

La velocidad vendrá dada por el cociente de este gasto entre el área transversal del recuperador.

El área efectiva (A_{efec}) del recuperador se obtiene - restándole el área de sección transversal de la tubería que lo atraviesa.

$$A_{efec} = A_{recuperador} - A_{de\ la\ tubería\ que\ lo\ atraviesa.}$$

$$A_{efec} = \frac{\pi}{4} (3)^2 - \frac{\pi}{4} (1.5)^2 = 5.3014 \text{ pulg}^2$$

$$A_{efec} = 0.0368 \text{ pies}^2$$

Luego la velocidad es:

$$V_g = \frac{V'_g}{A_{efec}} \quad (8-4)$$

$$V_g = \frac{25.1954}{0.0368} = 684.66 \text{ pies/hr} = 0.19 \text{ pies/seg.}$$

8.2.0 TEMPERATURA A LA SALIDA DEL RECUPERADOR

Se tiene la ecuación (8-1):

$$Ak(T'_g = T'_a) = Wa(T_{2a} - T_{1a}) C_a$$

Se considera que el material de la tubería de aire es de hierro galvanizado, con diámetro de $1\frac{1}{2}$ " y su área de calentamiento es:

$$A = D \times L \quad (8-5)$$

Donde:

D : Diámetro de la tubería.

L : Longitud de la tubería en el interior del recuperador.

Entonces:

$$A = (1.5/12) \times L$$

$$A = 0.125L$$

También se tiene:

$$T'_{1a} = 86^{\circ}\text{F}$$

$$T'_{1g} = 1600^{\circ}\text{F}$$

$$T'_{1a} = 95^{\circ}\text{F}$$

El peso de aire que en una hora circula dentro de la tubería de $1\frac{1}{2}$ de pulgada, se infiere al considerar un 10% de aire en exceso. Como se requieren 15.69 Lbs de aire por libra de propano, el flujo másico en exceso es:

$$15.69 \times 1.10 = 17.26 \frac{\text{Lb de aire}}{\text{Lb de propano}}$$

Puesto que la cantidad de propano encontrada con anterioridad corresponde a 2.4586 Lbs de propano/hora, la cantidad de aire es por tanto:

$$W_a = m_a = 2.4586 \times 17.26 = 42.44 \text{ Lbs de aire/hr.}$$

Para el cálculo de K usaremos el coeficiente global - de transferencia de calor U (Ref. 7)

$$U = 2.25 + 0.00045G \quad (8-6)$$

Siendo G el peso medio de los gases quemados en kg -- por hora y metro cuadrado de sección transversal de tubería.

Haciendo un balance de masa, se debe cumplir que:

$$m_a + m_p = m_g$$

$$42.44 + 2.4586 = m_g$$

$$m_g = 44.89 \text{ lbs/hr.}$$

Entonces:

$$m_g = 44.89 \text{ lbs/hr}$$

$$G = \frac{44.89}{\frac{\pi}{4} (D)^2}$$

$$G = \frac{4(44.89)}{\frac{\pi}{4} (1.5/12)^2}$$

$$G = 3657.96 \text{ lbs/ pie}^2\text{-hr.}$$

Luego:

$$U = 2.25 + 0.00045(3657.96)$$

$$U = 3.896 \text{ BTU/hr-pie}^2\text{-}^\circ\text{F}$$

Evaluando para la expresión del recuperador (8-1):

$$Ak (T'g - T'a) = Wa (T2a - T1a) Ca$$

$$0.125L \times 3.896 (1600 - 95) = 42.44(T2a - 86) \times 0.241$$

$$0.125 (0.3937) \times 5863.48 = 10.23T2a - 879.61$$

$$T = 114.19 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$\underline{T = 115 \text{ }^\circ\text{F}}$$

Esta es la temperatura de precalentamiento esperada del aire en el quemador.

8.3.0 TIRO

La diferencia de presión conocida como tiro, es usualmente medida en términos de pulgadas en agua. Sus me-

didadas son hechas, ya sea abajo o sobre la presión atmosférica. Un mecanismo de tiro con una escala inclinada de un rango pequeño, es mostrado en la figura (8-4)

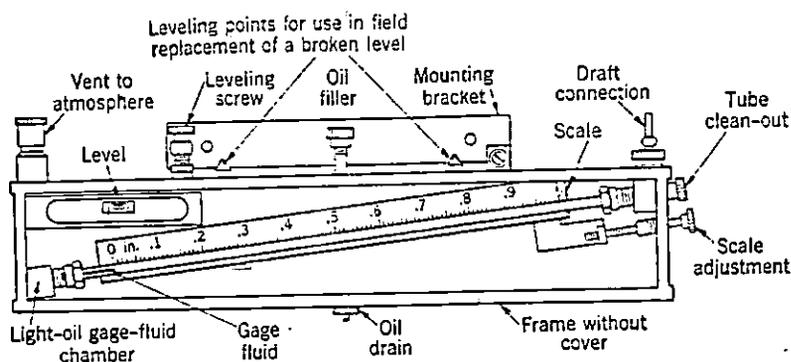


Fig. 8-4 Dispositivo para medir el tiro

El tiro se designa como tiro natural y tiro mecánico. El tiro natural es producido por la convección libre y el tiro mecánico resulta con el uso de un ventilador, o chorro de gas.

8.3.1 TIRO NATURAL.

La diferencia de presión en el tiro natural es producida por la acción, ya sea por un aparato similar a una chimenea o a una chimenea misma. La longitud de esta diferencia depende de la altura máxima por encima del nivel del horno y depende de la diferencia de la temperatura entre, los gases dentro y fuera de la chimenea. Las variaciones del clima, las condiciones

de operación de la caldera, la altura de la chimenea, tienen un marcado efecto sobre la cantidad de tiro -- que puede ser requerido en una chimenea particular.

El tiro natural no requiere de potencia mecánica para su producción y se puede adaptar en pequeñas plantas, donde ya sea las condiciones de carga no sean extrema damente variables o donde no necesiten desarrollar - grandes capacidades rápidamente.

8.3.2. CHIMENEAS Y CAÑONES.

Cualquiera de estas estructuras es usada en todos los sistemas de tiro para transportar humo o gases de com bustión a un nivel por encima de los objetos circun-- dantes y edificios.

Si estas estructuras se construyen de ladrillos o con creto, entonces se conocen como chimenea, aquellas -- construidas con acero con llamadas cañones. Estos son construidos de láminas metálicas ligeras que requie-- ren algún tipo de soporte, los cuales se construyen - de placas metálicas pesadas. Un típico ladrillo radial para chimenea se muestra en la figura (8-5)

Las chimeneas de ladrillos o de un tipo de material - que no es muy resistente son propensas a tener goteras como resultado de la mala construcción o de la naturaleza del material utilizado. Las chimeneas de concreto están sujetas a desquebrajarse fácilmente. Estas rajaduras disminuyen el tiro disponible.

Los cañones de acero, a menos que se mantengan cuidadosamente pintado, están sujetos a la acción corrosiva - del aire y del agua.

Los cañones no recubiertos, son corroídos, por los gases que fluyen y debido a esto la duración de éstos es mucho más corta que los construidos de ladrillo y concreto.

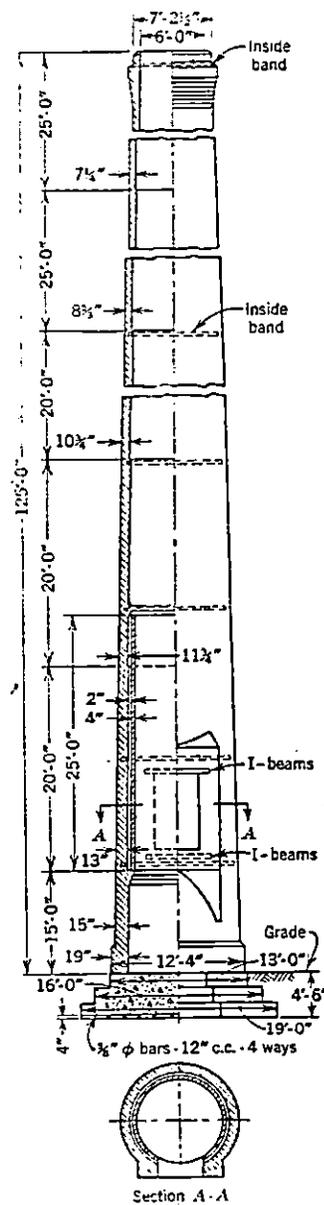


Fig. 8-5. Diagrama o sección de una chimenea, construida de ladrillo.

8.3.3 ALTURA DE LA CHIMENEA Y EL AREA.

La presión disponible para la producción del flujo de gas y para vencer las correspondientes resistencias - de fricción son medidas en libras por pie cuadrado y es igual a la altura de la chimenea (h), son los pies arriba del nivel de la parrilla, multiplicado por la - diferencia entre la densidad del aire exterior (d_a) - la densidad promedio dentro de la chimenea (d_g).

Esta presión diferencial es $h(d_a - d_g)$. La presión -- equivalente de una pulgada de agua en libras por pie cuadrado es $(D/12)$, donde (D) es el peso de un pie cúbico de agua a la temperatura de la carga de fluido en el tiro. El tiro teórico en pulgadas de agua es:

$$hw = 12h (d_a - d_g) \times D \quad (8-7)$$

La densidad del aire exterior y la promedio del flujo de gases puede ser calculada por medio de la ecuación de los gases ideales.

$$Pv = MRT \quad (8-8)$$

Donde: P = presión
 V = volumen
 M = masa
 R = constante
 T = temperatura.

Si $V = 1$, m es igual a la densidad, así:

$$m = \rho = \frac{P}{RT} \quad (8-9)$$

Donde la constante (R) se toma como 53.34 pie-lb/°F

Cuando la presión barométrica (B), en pulgadas de mercurio es conocida:

$$\frac{P}{R} = \frac{144 \times 0.91 B}{53.34} \quad (8-10)$$

$$\frac{P}{R} = 1.326 B$$

También se tiene:

$$d_a = \frac{1.326 B}{T_a} \quad \text{y} \quad d_g = \frac{1.326 B}{t_g}$$

Entonces de la ecuación (8-9)

$$P = \frac{P}{RT} = \frac{1.326 B}{T}$$

Así de la ecuación (8-7)

$$hw = 12h (d_a - d_g) D$$

Sustituyendo:

$$hw = 12h \left(\frac{1.326B}{T_a} - \frac{1.326B}{T_g} \right) D$$

$$hw = 15.91 Bh \left(\frac{1}{T_a} - \frac{1}{T_g} \right) D \quad (8-11) \text{ Ref. 8}$$

Donde:

T_a : Temperatura ambiente.

T_g : Temperatura promedio dentro de la chimenea.

Cuando se requiere una cantidad de tiro teórica (hw) en pulgadas de agua, la altura de la chimenea en pies debe ser:

$$h = \frac{hw}{15.91B \left(\frac{1}{T_a} - \frac{1}{T_g} \right) D} \quad (8-12) \text{ Ref. 8}$$

La mayoría de las ecuaciones de la chimenea son empíricas y por lo tanto implican asunciones.

8.3.4 TIRO MECANICO.

Los tiros producidos por la acción del vapor, chorros de aire, ventiladores centrífugos y sopladores son -- realizados mecánica.

Esto se requiere donde se deben mantener tiros positi

vos, independientemente de las condiciones ambientales de las operaciones de la caldera y cuando se produce un tiro natural insuficiente. Los equipos auxiliares como economizadores y precalentadores de aire reducen la temperatura del flujo de gas, en tales casos la chimenea necesaria para producir la cantidad requerida de tiro puede ser excesivamente alta y costosa.

Los equipos provistos con tiros mecánicos no requieren de chimeneas tan altas y caras como las que se necesitan en las de tiro natural.

Algunas veces se construyen chimeneas altas a pesar de utilizar tiros mecánicos para prevenir humos a bajo nivel y también que finas cenizas y desperdicios sean descargados produciendo reclamos.

8.3.4.1 SISTEMA DE TIRO MECANICO.

Los dos sistemas más comunes son: el tiro forzado y el tiro inducido.

El tiro forzado se realiza soplando aire dentro de una caldera cerrada, o dentro de cámaras o cajas bajo las parrillas de los hornos o a través de pulverizadores de los quemadores. El aire es soplado bajo pre

si3n, y por eso obliga a avanzar al combustible en el quemador hacia dentro del horno. La pr3ctica general del tiro forzado, es remover los productos de la combusti3n dentro del horno, ya sea por tiro natural o inducido o una combinaci3n de ambos.

El tiro inducido es producido por un soplador o un ventilador centrífugo, localizado en la conexi3n de humo entre las calderas y la chimenea, a la base de la chimenea. Cuando se instala un economizador, el equipo de tiro inducido es ubicado entre la salida del economizador y la chimenea.

La acci3n del aparato de tiro inducido, es la reducci3n de la presi3n de los gases dentro de las calderas a una menor que la atmosférica.

Los gases son descargados dentro de la chimenea bajo una presi3n positiva. Las aplicaciones de los tiros inducidos, pueden producir una presi3n mucho menor dentro de los hornos que la atmosférica. As3 la presi3n exterior del aire es suficiente para producir la cantidad requerida de aire a trav3s de la c3mara de combustible. Cuando la alimentaci3n de los quemadores es insuficiente, el tiro forzado es requerido para --

suplir el aire necesario.

Cuando se utiliza una combinación de tiro forzado e inducido, con prácticamente, presión atmosférica en el horno, el término tiro balanceado, es aplicado.

8.4.0 COMBINACION DE VENTILADORES CON CHIMENEAS.

Tres tipos de chimeneas son ilustrados en la figura (8-6)

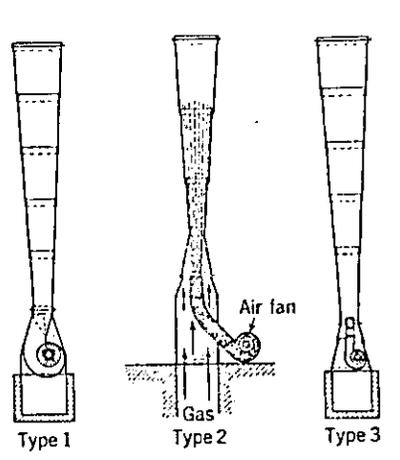


Fig. 8-6. Tipos de Chimeneas.

La chimenea 1 es adaptable cuando se requiere tiro inducido, pero generalmente se relaciona para instalaciones donde debe ser mantenida una presión diferencial de más de 1.5 pulgadas de H_2O .

Como una regla, el tipo 3 se usa cuando el tiro necesario

sario es menor de 1.5 pulgadas de H₂O.

Ambos tipos de chimenea, son operados bajo el tiro inducido totalmente o tiro natural sin ventiladores en operación, o cuando los gases que se manejan son muy corrosivos o muy calientes.

El tipo 2, el cual tiene el ventilador localizado externamente, en este caso el ventilador sopla un chorro de aire helado a través de las boquillas.

8.5.0 CALCULO DE LAS PERDIDAS DE TIRO.

Suponiendo que se mantiene el volumen de los gases considerados en el numeral 13.0, referido ahora a la temperatura supuesta de 500°F en la chimenea, es decir:

$$V_g = \frac{460 + T_{amb}}{460 + T_{Chim}} \times V_g \quad (8-13)$$

$$V_g = \frac{460 + 86}{460 + 500} \times 95.0597$$

$$V_g = 54.065 \text{ pies}^3/\text{hr}$$

Las pérdidas de tiro se evalúan por la expresión siguiente:

$$T_p = \frac{F L S}{0.7419D^5} \times \frac{(C F M)^2}{1000} \quad \text{Ref. 9}$$

Donde:

F : Factor de fricción (diagrama de Moody, Capítulo VI, sección 5.3.0) considerando los valores de rugosidad de 0.00015 para el Acero, resultando igual a 0.013.

S : Presión barométrica = 27.9 pulg de Hg

D : Diámetro de la chimenea en pies = 0.3281

L : Altura de la chimenea en pies = 1.6404

Luego:

$$T_p = \frac{0.13 \times 1.6404 \times 27.9}{0.7419 (0.3281)^2} \times \frac{(54.065/60)^2}{1,000}$$

$$T_p = 210.9214 \times 8.1195 \times 10^{-4}$$

$$T_p = 0.1713 \text{ pulg. de agua.}$$

CAPITULO IX
DESCRIPCION Y ANALISIS ECONOMICO
DEL DISEÑO

9.0 DESCRIPCION DEL DISEÑO

Para obtener la profundidad requerida de cementación se requieren porcentajes adecuados de las sales. Para llegar a obtener una buena cementación líquida, se necesita elevar las sales a un intervalo de temperatura de 900 a 1000°C, las cuales se fundirán en un crisol de fundición de hierro.

La Cámara de combustión es un espacio anular formado entre el exterior del crisol y el interior de un cilindro hecho de ladrillo refractario.

La fuente de calor es un quemador a propano, el cual hará la combustión con aire dentro de la cámara de combustión. Por razones técnicas el quemador se encuentra en la parte superior del horno de manera que forme la llama una trayectoria tangencial dentro de la cámara de combustión, saliendo los gases de la combustión a través de un agujero que se encuentra en la parte inferior del cilindro refractario (horno).

Los productos de combustión tienen una gran cantidad de energía disponible debido a su alta temperatura; esta energía disponible se desperdicia si dichos productos salen directamente a la atmósfera. Para aprovechar parte de la energía, se instalará un intercambiador de calor, en el cual una parte de energía es transmitida al aire de admisión que se utiliza para realizar una buena combustión.

El intercambiador de calor es a contracorriente como se muestra en la figura (8-1) del capítulo VIII. Este intercambiador será instalado en la parte inferior del horno, por donde escapan los gases de combustión.

Cuando los gases de la combustión salen del intercambiador entran a la chimenea saliendo por ella al medio ambiente.

El aire de admisión a temperatura ambiente se provee por medio de un ventilador, formándose un tiro (pequeña diferencia de presión) forzado. Este tiro servirá para vencer las pérdidas a través del horno, intercambiador, ductos, válvula y para suplir el aire necesario para la combustión.

Para poder regular la cantidad de aire necesario, se instalará una válvula de compuerta en la tubería que se encuentra entre el ventilador y el intercambiador de calor.

La mezcla aire-combustible (llama) se logra en el quemador, que consistirá de un tubo de $1\frac{1}{2}$ pulgada de diámetro, en el cual se introduce un tubo de $\frac{1}{4}$ de pulgada de diámetro el cual en su extremo lleva una boquilla de $\frac{1}{8}$ de pulgada. El ladrillo refractario deberá soportar altas temperaturas y además llevará en el exterior del horno un aislante de un coeficiente bajo. Este aislante será fibra de vidrio, esta se sostendrá por una tolva o envoltura de lámina, alrededor del horno y del intercambiador de calor.

Existe la necesidad de hacer que todas las piezas que constituyen el horno sean conformadas en una unidad. Para ésto se hará una estructura de perfil angular.

La estructura se colocará directamente en el suelo pa ra evitar deformaciones o fluctuaciones del angular a altas temperaturas (ver planos en anexo N° 3).

9.1 ANALISIS ECONOMICO

Cada decisión de Ingeniería debe considerar lo económi co. Por ese motivo se hará una evaluación sobre los costos directos (materiales). Los costos de operación quedan resu- midos al combustible y al mantenimiento que los alumnos ten drán de él.

COSTOS DE MATERIALES Y EQUIPOS

DESCRIPCION	CANTIDAD	PRECIO UNIDAD	TOTAL
Ventilador	1	¢ 2,500.00	¢ 2,500.00
Fibra de vidrio	4 pies ²	3.60	14.40
Crisol	1	150.00	150.00
Ladrillo refractario para Horno	25	16.00	400.00
Cemento Refractario	150 lbs	350.00	525.00
Válvula reguladora de presión	1	50.00	50.00
Tubería para quemador 1½" (galvanizado)	6 mts	188.00	188.00

Tubería de gas de $\frac{1}{2}$ " (cobre)	1 mt	¢	7.20	¢	7.20
Angular de Hierro de $1\frac{1}{2}$ "	18 mts		55.50		166.50
Tubería para horno de 18"	1		600.00		600.00
Tubería para recuperador de 3"	1.5 mts		75.00		112.50
Tubería para Chimenea de 6"	3 mts		108.33		324.99
Platina de $\frac{1}{4}$ "	1		150.00		150.00
Válvula de paso de $\frac{1}{2}$ "	1		180.00		180.00
Lámina galvanizada lisa (3 x 1 yda)	1		49.50		49.50
Electrodo de fundición	2 $\frac{1}{2}$ lbs		70.00		175.00
Electrodo 6010	2 lbs		4.50		9.00
Guantes de cuero	2		14.00		28.00
Delantal de cuero	2		90.00		180.00
Mascarilla	2		10.80		21.60
T O T A L E S				¢	5,831.69

CAPITULO X
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

10.0 CONCLUSIONES

A continuación se dan algunas conclusiones sobre el di
seño del Horno:

- a) El equipamiento de la Escuela de Ingeniería Mecánica - es una realidad, por lo que uno de los propósitos de este trabajo es, de que este Horno sea utilizado como apoyo docente, como también, comparar los costos de un equipo extranjero con uno elaborado en la Escuela.
- b) Como se observa en el texto y en el Horno ya construido, no se trabajó pensando en controles automáticos para el sistema del quemador, suministro de combustible, medición de temperatura, debido a los costos prohibitivos resultantes.
- c) Con la investigación realizada, se considera que las temperaturas tanto del Horno como del recuperador de calor, el tiempo de operación para la cementación, etc. pueden lograrse con poca dispersión a los valores obtenidos, construyendo el Horno con los materiales específicos.
- d) En el texto se calculó un ventilador más pequeño, pero por motivos económicos se utilizará el ventilador que existe en la Escuela de Ingeniería Mecánica.
- e) Desarrollar en la Escuela de Ingeniería Mecánica la in

vestigación sobre procesos para la mejora de las propiedades de los materiales metálicos en plaza.

Un resumen de las especificaciones del Horno, es el siguiente:

- Capacidad del crisol: $0.3354 \text{ pies}^3 = 9.5047 \times 10^{-3} \text{ mts}^3$
- Temperatura de régimen: $1942 \text{ }^\circ\text{F}$ ($950 \text{ }^\circ\text{C}$)
- Consumo de propano: $3.6834 \text{ pies}^3/\text{hr} = 2.8995 \times 10^{-5} \frac{\text{mt}^3}{\text{seg}}$
- Consumo de aire: $96.4719 \text{ pies}^3/\text{hr} = 7.594 \times 10^{-4} \frac{\text{mt}^3}{\text{seg}}$
- Temperatura de aire precalentado: 100°F ($37.77 \text{ }^\circ\text{C}$)
- Costo de materiales: $\$ 5,831.69$

10.1 RECOMENDACIONES

Las recomendaciones que pueden darse para un buen funcionamiento del Horno, son las siguientes:

- a) Es deseable que los rayos del Sol incidan sobre los tanques cuando el Horno esté en funcionamiento. Esto contrarrestará al efecto de enfriamiento por causa del caudal de combustible que consume.
- b) Antes de encender el Horno, hay que evitar que se encuentre tapado para evitar riesgos de explosión.
- c) Se tiene que mantener siempre limpia la cámara del Horno y libre de costras, raspándola a intervalos adecuados.

dos de tiempo.

- d) Una vez encendido el Horno es importante la regulación de la llama (al variar la mezcla de aire-propano) por medio del tubo de propano que penetra en el codo del quemador.
- e) Por razones de seguridad las sales deben fundirse desde arriba hacia abajo. Si se calientan desde abajo, las sales líquidas en expansión saldrán en erupción a través de la corteza sólida, creando una situación muy peligrosa por razón de encontrarse al rojo vivo.
- f) Para evitar una explosión que lance las sales fundidas fuera del crisol, todas las piezas de trabajo deberán estar secas y precalentadas.

También pueden darse algunas recomendaciones dirigidas a la Industria:

- a) Cuando se requiere cementar piezas pequeñas en Hornos industriales existentes en nuestro país, se debe hacer en grandes cantidades de piezas, mientras que en el Horno que se menciona en este libro, se pueden realizar en número de 3 a 5 piezas, dando con esto una buena cementación y el uso de pocas sales.
- b) La construcción del Horno se realizó con materiales existentes dentro de la Escuela de Ingeniería Mecánica.

Este diseño es comparativamente sencillo y de bajo - costo.

- c) Se recomienda, ya sea a la Industria o a la Escuela de Ingeniería Mecánica, que se le adapte un sistema electrónico de control de temperatura, que no se pudo llevar a cabo por falta de recursos y dispositivos electrónicos.
- d) El Horno debe darse a conocer a todos los niveles: Universidades, industrias y explicar la importancia de su aplicación.

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

- 1- Yu Lajtin, B. Arzamasov, Tratamiento Químico Térmico de los Metales, Ed. MIR, Moscú.
- 2- Ministry of Power (1958). The efficient use of Fuel, London, Her Majesty's Stationery Office.
- 3- Samaruga, M. (1972). Curso práctico de instalaciones domiciliarias de gas, Buenos Aires, Ed. Construcciones Sudamericanas.
- 4- Considine, D. M. (1974), Chemical and Process Technology Encyclopedia, 1st.Ed. New York, Mc Graw-Hill.
- 5- Thompson, P.A., (1972), Compressible Fluid Dynamics, New York, Mc Graw-Hill.
- 6- Raymond A. Higgins, Ingeniería Metalurgia, Ed. Continental, México 22, D.F.
- 7- Gaffert, G.A., Centrales de Vapor, (1973), Ed. Reverté, S.A., Barcelona.
- 8- Sverns Degler Miles, Steam, Air and Gas Power. 5a. Edición.

- 9- Jorgensen, R., (1970), Fan Engineering, 7th. Ed. New York, Buffalo Forge Company.

- 10- Timings, R.L., Tecnología de la Fabricación, Representaciones y Servicios de Ingeniería, S.A., México.

A N E X O S



ANEXO N° 1

INSTRUCCIONES DE OPERACION

A continuación se presentan los pasos necesarios para poner en funcionamiento el Horno de Cementación:

- 1- Abrir al mínimo la compuerta (ver vista en planta) de la tubería de aire que se encuentra entre el recuperador y el ventilador.
- 2- Arrancar el ventilador. Verificar que esté conectado.
- 3- Verificar que la válvula de paso en la tubería de gas se encuentre totalmente cerrada.
- 4- Abrir la válvula del tanque de gas.
- 5- Se enciende el soplete, abriendo lentamente la válvula de paso, y se introduce en la tubería que conduce al - aire hacia el Horno, haciendo así la combustión entre el aire y el gas.
- 6- Abrir la compuerta del aire lentamente hasta regular - la llama necesaria.
- 7- Escoger el tipo de sales (porcentajes de composición, ver sección 1.2.1.3), dependiendo de la profundidad de cementación que se desee.
- 8- Verificar la temperatura con la termocupla, dentro del crisol (o de las sales).

- 9- Teniendo la temperatura adecuada (a la cual funden las sales, la cual es 900 °C) se introduce la canasta dentro del crisol con las piezas a cementar, dándole el tiempo necesario (ver sección 7.2.0), para dicho tratamiento térmico.
- 10- Habiendo dado el tiempo necesario, se extrae la canasta con las piezas ya cementadas.
- 11- Finalmente para apagar el quemador, se cierra la válvula de paso del gas. Luego se cierra la compuerta del aire y se apaga el ventilador, para después cerrar la válvula del tanque de gas.
- 12- Antes de introducir las piezas al horno tienen que ser precalentadas.

ANEXO N° 2

INSTRUCCIONES DE MANTENIMIENTO

De cualquier manera, la operación segura, constante y eficiente, puede ser obtenida mediante un programa de mantenimiento elemental. Este principio es aplicable para Hornos, calderas, compresores, automoviles o para cualquier pieza de algún equipo mecánico.

Aquí se presentan ciertas normas para el mantenimiento del Horno para cementación:

- 1- Quite la tapadera de la tolba, luego quite la tapadera del horno, de manera que todo el refractario esté expuesto a su inspección visual. Cubra con un apelícu la de cemento todo el refractario y taponee cualquier área que presente cortaduras o erosión.
- 2- Si hay insuficiencia de aire, el fuego producirá humo y causará que los tubos se llenen de hollín y carbono, por lo tanto hay que inspeccionar la tubería para localizar acumulaciones de dicho elemento.
- 3- Desmontar en ciertos períodos el ventilador para inspeccionarlo que se encuentre en buen estado.
- 4- Inspeccionar que no existan fugas de aire, si existen hay que quitar la abrazadera para desensamblarlo y adherirle a las empaquetaduras pegamento, para luego en--

samblarlo nuevamente.

- 5- En caso de lluvia hay que cubrirlo para evitar que se moje, ya que la lluvia destruirá el aislante (fibra - de vidrio).
- 6- Mantener en constante mantenimiento los aparatos de - medición de temperatura y presión.

samblarlo nuevamente.

- 5- En caso de lluvia hay que cubrirlo para evitar que se moje, ya que la lluvia destruirá el aislante (fibra - de vidrio).
- 6- Mantener en constante mantenimiento los aparatos de - medición de temperatura y presión.

ANEXO 3