

TUES  
1503  
D 611  
1995

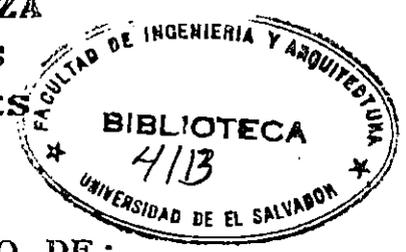
EJ1

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA**



**TRABAJO DE GRADUACION:**  
**" DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN**  
**HORNO DE NITRURACION "**

**PRESENTADO POR:**  
**LEYLA MARINA JIMENEZ MONROY**  
**LUIS HJALMAR RAMOS ESPINOZA**  
**FRANCISCO ANTONIO CUEVAS**  
**NELSON ANTONIO REYES FUNES**



**PREVIO A LA OPCION DEL TITULO DE:**  
**INGENIERO MECANICO**

1510.2110  
15102110

**SAN SALVADOR**                      **OCTUBRE 1995**                      **EL SALVADOR**                      **CENTRO AMERICA**



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al grado de:

INGENIERO MECANICO

Título: "DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN HORNO DE NITRURACION"

Presentado por :

LEYLA MARINA JIMENEZ MONROY

LUIS HJALMAR RAMOS ESPINOZA

FRANCISCO ANTONIO CUEVAS

NELSON ANTONIO REYES FUNES

Trabajo de Graduación aprobado por:

Coordinador y Asesor : ING. FRANCISCO ALFREDO DELEON T.

Asesor : ING. ADOLFO ANTONIO SEGOVIA, V.

San Salvador, Octubre de 1995

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR :

DR. JOSE BENJAMIN LÓPEZ GUILLEN

SECRETARIO GENERAL :

LIC. ENNIO ARTURO LUNA

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO :

ING. JOAQUIN ALBERTO VANEGAS AGUILAR

SECRETARIO :

ING. JOSE RIGOBERTO MURILLO CAMPOS

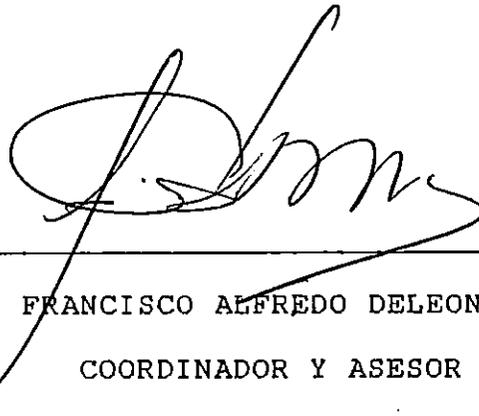
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

DIRECTOR :

ING. RIGOBERTO VELASQUEZ PAZ

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

TRABAJO DE GRADUACION APROBADO POR :



ING. FRANCISCO ALFREDO DELEON TORRES  
COORDINADOR Y ASESOR



ING. ADOLFO ANTONIO SEGOVIA VALENCIA  
ASESOR

" SI UNA LLEGADA NO ES UNA SALIDA,  
ENTONCES, ¿ DE QUE SIRVE ? "

## AGRADECIMIENTOS

Todo trabajo de esta naturaleza involucra un gran esfuerzo, realizado tanto por los que participan en él, como también por aquellas personas que indirectamente se relacionan con ellos.

Es por eso que deseamos agradecer en primera instancia, a nuestras familias, por todo el apoyo y la colaboración brindadas a lo largo del desarrollo del presente trabajo.

Agradecemos también a las siguientes personas:

- Al Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, Ing. Rigoberto Velásquez Paz, por todas las gestiones realizadas.
- Al Ing. Agustín Barrera, por facilitarnos el acceso al área de Laboratorios de la Escuela de Ingeniería Mecánica.
- A la Sra. Rosario de Herrera, Secretaria de la Escuela de Ingeniería Mecánica, y a la Sra. Teresita de Rodríguez, por su fineza y magnífica colaboración.
- Y, muy especialmente, a nuestros asesores, por darle seguimiento al presente trabajo, a pesar de las circunstancias adversas que se presentaron.

DEDICATORIA

A LO DIVINO, INCONMENSURABLE, OMNIPOTENTE Y SEMPITERNO  
Con respeto a los sentimientos religiosos inculcados por mi  
familia.

A MIS PAPAS :

LIC. JUAN ALIRIO JIMENEZ ORELLANA  
Y ROSA MARINA MONROY DE JIMENEZ

No es fácil expresar todo lo que se siente en muy pocas palabras,  
más, si existe una sola frase que describa, en toda la magnitud  
de su significado, lo que han y siguen haciendo por mí, es SER MI  
PADRE Y MI MADRE , en todos y cada uno de los momentos de mi  
vida.

A MIS QUERIDAS HERMANAS :

CLAUDIA, GEORGINA Y CRUZ MARIA

Con todo el amor que mi corazón puede darles.

A MIS SOBRINOS :

LILY Y DANDE

Quienes le dieron una nueva faceta a mi vida.

Y A JUAN :

Por estar siempre conmigo.

LEYLA MARINA

## DEDICATORIA

GRACIAS :

Al que es y al que será, El Alfa y el Omega,  
Al principio de todo principio y al fin de  
todo fin, por darme lo que me ha dado y lo que  
me dará.

A MI PADRE :

JOSE LORENZO, por sentar las bases para mi  
formación profesional. A tu memoria.

A MI MADRE :

Por sus noches de desvelo, su amor y su apoyo  
incondicional.

A MI MAMA :

Por el apoyo, y el amor tan grande que sólo tú  
me podías dar. Gracias, viejita.

A MIS TIOS ABUELOS :

Por que aunque lejos, siempre estuvieron  
conmigo.

A MIS TIOS :

Por el apoyo y el cariño brindado.

A MIS HERMANOS :

Por ayudarme con su comprensión, cariño y  
colaboración.

Y A MIS DEMAS FAMILIARES :

Por estar, de una u otra manera conmigo.

AL MATRIMONIO JIMENEZ MONROY :

Por su amistad, consejos y todo lo que me  
brindaron.

LUIS HJALMAR

## DEDICATORIA

A DIOS : Para quien es la Gloria Total de este triunfo, ya que ha sido mi fortaleza y apoyo para conquistar la meta que un día fué fijada y hoy me permite compartirla con los seres que amo. "TODO LO PUEDO EN CRISTO QUE ME FORTALECE"

A MI MADRE : JULIA CUEVAS, quien después de Dios, me dió la oportunidad de prepararme y que con su gran amor y sin medir sacrificio se dedicó a mí para forjarme e hizo con sus consejos más facil mi camino.

A MI PADRE : FRANCISCO ROSALIO CUEVAS. A quien recuerdo con amor y agradecimiento profundo por cultivar en mí el espíritu de superación y la Fé en mi Dios.

A MI ABUELO : FRANCISCO AJANEL, quien con su consejo prudente y su enseñanza sobre la vida orientó desde niño mis pasos hacia el camino del bien y del saber.

A MI ESPOSA : SILVIA LEDA SAGGETH DE CUEVAS, a quien amo profundamente, por el apoyo incondicional que me ha brindado siempre y por otorgarme cada día su amor.

A MIS HERMANAS : ANY Y KETY, con agradecimiento y amor fraterno, por el apoyo que me han dado.

A MIS TIOS, TIAS Y PRIMOS : Con respeto y cariño.

FRANCISCO ANTONIO

## DEDICATORIA

A MI SEÑOR Y SALVADOR :

JESUCRISTO, quien ha sido mi fortaleza y mi refugio y hoy me permite llegar con éxito al final de mi carrera académica.....muchas gracias señor Jesús.

A MIS PADRES:

Andrés Reyes y Oralia de Reyes, por sus constantes oraciones y su apoyo incondicional. Este día los honro y bendigo.....les amo mucho.

A MI ESPOSA:

Daysi Janet, gracias por tu respaldo y amor genuino....eres un regalo de Dios.

A MIS HERMANOS:

Andrés y Silvia, por el apoyo y estímulo que me brindaron en todo momento.....gracias.

TE AMO, OH JEHOVA, FORTALEZA MIA.

JEHOVA, ROCA MIA Y CASTILLO MIO, Y MI LIBERTADOR;

DIOS MIO, FORTALEZA MIA, EN EL CONFIARE; MI ESCUDO,

Y LA FUERZA DE MI SALVACION, MI ALTO REFUGIO.

SALMOS 18: 1-2

NELSON ANTONIO REYES F.

## INDICE

INTRODUCCION.....	i
<b>CAPITULO I : FUNDAMENTOS TEORICOS DEL TRATAMIENTO</b>	
<b>TERMOQUIMICO</b>	
1.1 Definiciones generales del Tratamiento termoquímico.....	1
1.1.1 Difusión en los metales.....	5
1.1.2 Mecanismos de Difusión en aceros.....	6
1.1.3 Nitruración de los aceros.....	9
1.2 Ventajas y Limitaciones del proceso de Nitruración sobre otros procedimientos de endurecimiento super - ficial.....	10
1.2.1 Mecanismo de formación de la capa nitrurada.....	12
1.2.2 Propiedades de la capa nitrurada.....	14
1.3 Nitrurabilidad.....	16
1.4 Aceros susceptibles al nitrurado.....	20
1.5 Prevención de defectos de nitruración.....	22
1.5.1 Deformación y alabeo.....	23
1.5.2 Bajo endurecimiento superficial o capa poco profunda.....	23
1.5.3 Cambio dimensional excesivo.....	23
1.5.4 Agrietamiento y astillamiento de las superficies...	23
1.5.5 Fragilidad y descamación de la capa.....	24
1.5.6 Decoloración de piezas de trabajo.....	25
1.5.7 Capa más profunda que la permitida.....	25

## CAPITULO II : DISEÑO DEL HORNO DE NITRURACION

2.1 Definición de parámetros de diseño del Horno de Nitruración.....	27
2.2 Dimensionamiento del Horno de Nitruración.....	28
2.2.1 Cálculo del volumen del Horno de Nitruración.....	29
2.2.1.1 Cálculo del volumen del cuerpo del horno....	31
2.2.1.2 Cálculo del volumen de la tapadera del horno....	32
2.2.1.3 Cálculo del volumen total del horno.....	32
2.2.2 Dimensionamiento del crisol.....	33
2.3 Balance Térmico del Horno de Nitruración.....	33
2.3.1 Fundamentos de Transferencia de Calor.....	35
2.3.1.1 Transferencia de Calor por Conducción.....	35
2.3.1.1.1 Conducción en estado estable.....	36
2.3.1.1.2 Conducción en paredes compuestas...	37
2.3.1.1.3 Cálculo del calor por conducción...	38
2.3.1.2 Transferencia de Calor por Convección.....	42
2.3.1.2.1 Convección natural.....	43
2.3.1.2.2 Cálculo de $h_c$ .....	43
2.3.1.2.3 Transferencia de calor por convección a través de la superficie lateral.....	45
2.3.1.2.4 Transferencia de calor por convección a través de la tapadera...	45
2.3.1.3 Transferencia de Calor por Radiación.....	46
2.3.1.3.1 Planos paralelos infinitos.....	50

2.3.1.3.2	Cálculo de la transferencia de calor por radiación.....	51
2.3.1.3.3	Pérdidas de calor debido a la pared lateral.....	51
2.3.1.3.4	Pérdidas de calor debidas a la tapadera.....	51
2.3.1.4	Cálculo del Calor en estado Transitorio ....	52
2.3.1.4.1	Cálculos de temperaturas.....	54
2.4	Requerimientos de Calor de la Carga.....	59
2.4.1	Cálculo del Cp.....	60
2.4.2	Cálculo de las densidades.....	60
2.5	Diseño del Sistema de Extracción.....	64
2.5.1	Generalidades.....	64
2.5.1.1	Campanas.....	65
2.5.1.2	Captación del contaminante.....	66
2.5.2	Principios de diseño de las campanas .....	67
2.5.3	Cálculo del caudal del extractor .....	76
2.5.3.1	Comportamiento Dinámico.....	76
2.6	Análisis Energético.....	78
2.6.1	Determinación de la longitud del alambre para la resistencia eléctrica.....	80
2.6.2	Análisis del Circuito Resistivo.....	81
2.6.3	Selección del contactor.....	85

CAPITULO III : DISEÑO DEL PROCESO DE FABRICACION DEL HORNO  
DE NITRURACION

3.1	Introducción.....	87
3.2	Diseño del Proceso de Fabricación.....	88
3.3	Generalidades de un proceso de fabricación.....	89
3.3.1	Generalidades del proceso de fabricación.....	90
3.3.2	Análisis del diseño.....	90
3.3.3	Análisis del material.....	90
3.3.4	Proceso de fabricación.....	91
3.3.5	Herramientas.....	91
3.3.6	Calidad y requerimientos de inspección.....	91
3.3.7	Manipulación de material.....	92
3.4	Pasos Generales en la etapa de planeación .....	92
3.5	Características de flujo del proceso.....	94
3.5.1	Análisis del flujo del proceso.....	94
3.5.1.1	Análisis de diagrama de flujo.....	98
3.5.1.2	Análisis del flujo de materiales.....	99
3.6	Planeación y Programación del proyecto.....	112
3.6.1	Objetivos.....	112
3.6.2	Planeación y control en proyectos.....	113
3.6.3	Programación.....	116
3.6.4	Método de Programación de Gantt.....	118
3.7	Estimación de Costos.....	124
3.7.1	Propósitos de la estimación de costos.....	124
3.7.2	Costos de material.....	125

#### CAPITULO IV : CONSTRUCCION DEL HORNO DE NITRURACION

4.1 Construcción del Cuerpo delHorno.....	131
4.2 Construcción del Sistema de Extracción.....	134
4.2.1 Construcción de la campana de extracción.....	134
4.2.2 Construcción de los ductos de arrastre y salida.....	141
4.2.3 Construcción del codo.....	144
4.3 Construcción del Panel de Control Eléctrico.....	146
4.4 Construcción del crisol.....	149
4.4 Ensamble total del Horno de Nitruración.....	150

#### CAPITULO V : PRUEBA DEL HORNO DE NITRURACION

5.1 Determinación de Parámetros de funcionamiento del Horno de Nitruración.....	151
5.2 Gráfica de Resultados.....	161

#### CAPITULO VI : INSTRUCCIONES DE OPERACION Y MANTENIMIENTO DEL HORNO DE NITRURACION.

6.1 Precalentamiento del Horno de Nitruración.....	163
6.2 Instrucciones de operación del Horno de Nitruración.....	165
6.3 Mantenimiento y ajustes del Horno de Nitruración.....	166
6.3.1 Actividades de Inspección y Mantenimiento.....	166
6.3.2 Limpieza del horno.....	168

6.3.3 Limpieza del Crisol.....	168
6.3.4 Engrase.....	168
6.3.5 Mantenimiento del Contactador.....	169
6.3.6 Mantenimiento de Instrumentos Especiales.....	169
6.4 Carta de Localización de Fallas.....	171
7.0 CONCLUSIONES.....	172
8.0 RECOMENDACIONES.....	174
9.0 BIBLIOGRAFIA.....	176
ANEXOS.....	181

## INTRODUCCION

Con el fin de darle cumplimiento a las metas de producción y satisfacer las demandas del consumidor, las empresas se ven obligadas a someter a las máquinas a un sobretabajo constante que viene a poner en detrimento el funcionamiento de éstas, y sus herramientas por lo que es importante elevar la fiabilidad y duración de las mismas.

El Tratamiento Quimicotérmico es por lo tanto una alternativa viable que garantiza su funcionamiento aún en las más severas condiciones en que se exploten.

En la investigación a desarrollar sobre el proceso de nitruración se contempla el diseño y la construcción de un horno para realizar dicho proceso, basándose en los requerimientos energéticos y de funcionamiento del mismo adecuados a nuestro estudio.

Es así como en el primer capítulo se describen los fundamentos del Tratamiento termoquímico, con el fin de sentar las bases teóricas necesarias sobre el proceso.

En el capítulo segundo se efectúa el diseño del horno de nitruración, y una vez finalizada esta etapa se procede a diseñar el proceso de fabricación del mismo el cual involucra diferentes aspectos, tales como la selección del proceso, planeación, programación y control del proyecto, flujo del proceso; en el cual se incluye lo referente a dibujos de ensamble, gráfica de ensamble, hojas de ruta y la gráfica de flujo del proceso.

Luego de realizar el diseño del proceso de fabricación del horno de nitruración, se presenta el manual de construcción del mismo, en el que se detallan las componentes fundamentales, así como también la forma de ensamble.

Finalmente en los capítulos quinto y sexto, se incluyen las pruebas de calentamiento del horno de nitruración, y además el detalle de las instrucciones de operación y mantenimiento del mismo, con el objeto de prolongar la vida útil del mismo.

## CAPITULO I: FUNDAMENTOS TEORICOS DEL TRATAMIENTO TERMOQUIMICO

Una razón principal para endurecer el acero es retardar el desgaste en superficies de soporte y frotamiento, pero debido a que el acero duro es frágil y no es resistente a la fatiga y al choque, es necesario endurecer superficies exteriores seleccionadas de muchas partes de máquinas para soportar el desgaste y dejar sus núcleos suaves y dúctiles para la resistencia al choque.

### 1.1 DEFINICIONES GENERALES DEL TRATAMIENTO TERMOQUIMICO

El Tratamiento Quimicotérmico (TQT) o Termoquímico, combina las acciones térmica y química con el fin de cambiar la composición química, estructura y cualidades de la capa superficial de un metal o una aleación.

En la figura 1.1 se muestra la clasificación general de los distintos tipos de tratamiento termoquímico de los metales y las aleaciones, la cual se basa en el elemento o elementos saturantes, ya sea metales (Al, Cr, Zn, etc.) o no metales (C, N, B y otros) los cuales se difunden en un metal o aleación a una temperatura determinada.

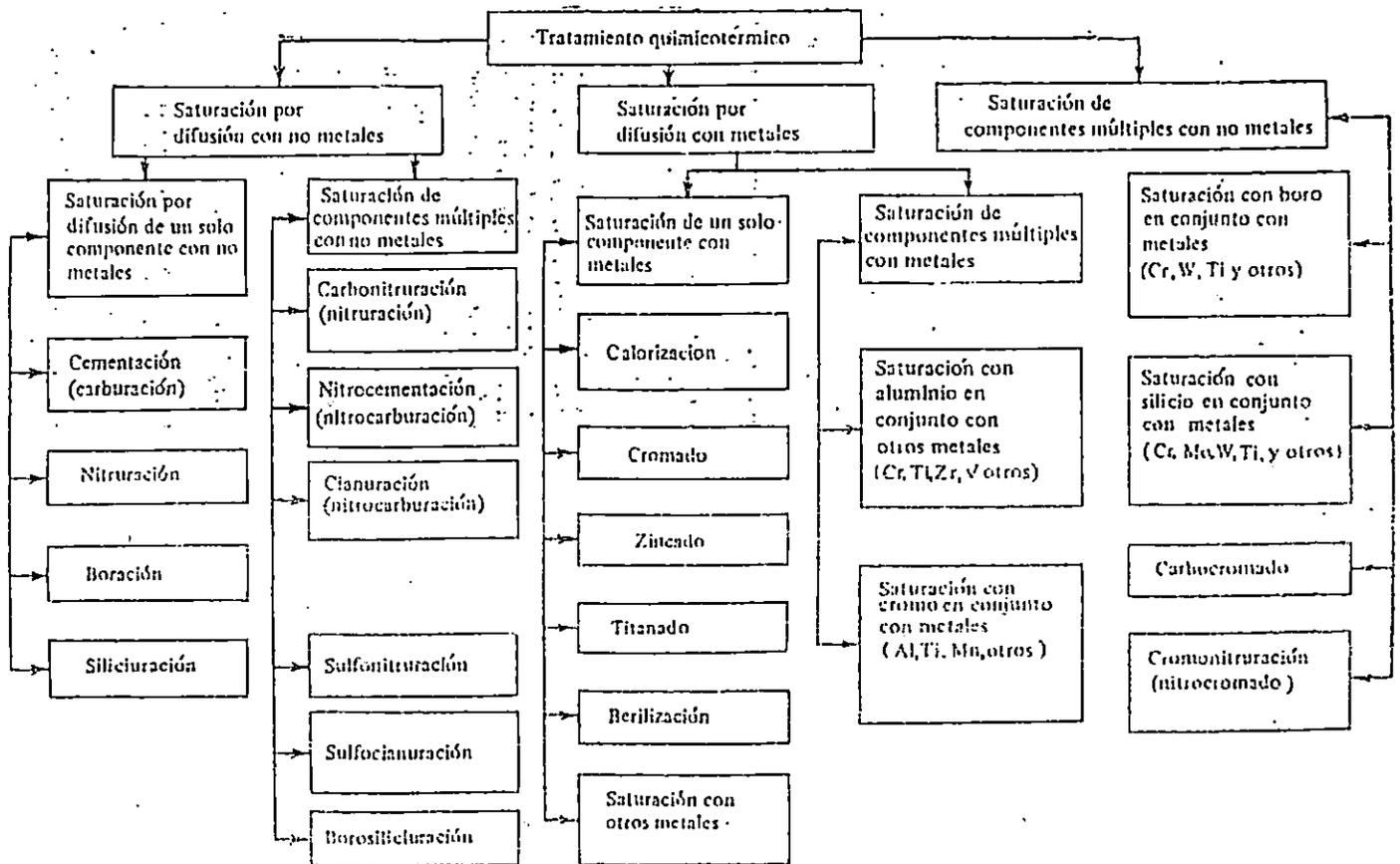


Fig.1.1 Clasificación general de los Tratamientos termoquímicos.

Los métodos principales de saturación que se utilizan para el TQT son los siguientes :

1.- Saturación con mezcla de polvos : dada la simplicidad del proceso tecnológico este método se utiliza en la producción en serie.

2.- Saturación por difusión en medios gaseosos de flujo directo y de circulación: este método permite regular la actividad del ambiente saturante (potencial de la atmósfera) a la vez que asegura una alta calidad de la capa de difusión y de la superficie de las piezas que se someten a tratamiento, por lo que se usa ampliamente en la producción en serie y en grandes lotes.

3.- Saturación por difusión o sales fundidas que contienen un elemento difusor (con o sin empleo de electrólisis) aunque no garantiza una alta calidad de superficie ni un espesor estable de la capa de difusión.

4.- Saturación en pastas y suspensiones : este método no asegura un espesor uniforme del revestimiento y buena calidad de la capa de difusión, aunque es utilizado para el endurecimiento local de la superficie y el tratamiento de piezas de gran volumen.

5.- Saturación por difusión con aplicación de vacío: la cual se

lleva a cabo a partir de la fase de sublimación mediante la evaporación del elemento difundidor a altas temperaturas.

La elección del método de saturación se realiza en base a los siguientes aspectos:

- a) Tipo de producción
- b) Dimensiones exteriores del producto
- c) Grosor requerido de la capa

Por lo general, la pieza que se somete a TQT se coloca en un medio rico de un elemento que se difunde en el metal.

Durante el TQT se desarrollan tres procesos elementales:

1. Disociación: la cual consiste en la descomposición de las moléculas y en la formación de átomos activos del elemento que se difunde.
2. Absorción: consiste en que la superficie del metal absorbe (disuelve) los átomos libres que se han formado.
3. Difusión: o penetración del elemento saturador en el metal o aleación. Este proceso puede ocurrir únicamente a condición de que el elemento difundidor sea soluble en el metal a tratar y la temperatura sea lo suficientemente alta para asegurar a los átomos la energía necesaria.

En el desarrollo de los procesos de TQT la velocidad del proceso

se controla por la difusión, por lo que, todos los factores que aceleran este proceso, tales como elevación de la temperatura y del gradiente de concentración o defectos estructurales, acortan la duración del proceso tecnológico del TQT.

### 1.1.1 DIFUSION EN LOS METALES.

Podemos definir la difusión como una migración de átomos, resultado de muchos movimientos al azar de átomos individuales; si bien la trayectoria de un átomo puede ser un zigzag impredecible, un gran número de átomos con tales movimientos pueden producir un flujo sistemático.

En los metales, existen dos tipos de traslación difusiva:

- a) La autodifusión, en que los átomos del metal básico se desplazan dentro de su propia red cristalina.
- b) La heterodifusión, en que se trasladan átomos ajenos dentro de una red cristalina extraña.

A la temperatura ambiente, la difusión se produce muy lentamente en la mayoría de los sólidos y tiene muy poca o ninguna importancia. Conforme aumenta la temperatura la difusión se produce cada vez más con mayor rapidez y constituye la base para la mayoría de los procesos metalúrgicos que tienen lugar en los sólidos a temperaturas elevadas.

La difusión es importante en el recocido, la recristalización y el crecimiento del grano de los metales trabajados en frío, en la impurificación de los semiconductores (o sea la adición de cantidades controladas de átomos extraños) y la formación de enlaces metálicos (soldadura, soldadura por arco, metalurgia de polvos).

#### 1.1.2 MECANISMOS DE DIFUSION EN ACEROS.

La difusión en soluciones sólidas puede realizarse mediante tres métodos: mecanismo de vacancias, mecanismo intersticial y el mecanismo de intercambio de átomos.

a) Mecanismo por vacancias: En este método, un átomo deja su lugar en la red para ocupar una vacante cercana creando un nuevo sitio vacío en su posición original en la red. Conforme prosigue la difusión, se presenta un reflujo de átomos y vacantes. Este mecanismo se representa en la figura 1.2a.

b) Mecanismo intersticial: un átomo en posición normal se mueve a un espacio intersticial y el lugar desocupado lo ocupa el átomo intersticial. Este mecanismo no requiere de vacantes para llevarse a cabo y se representa en la figura 1.2b.

c) Mecanismo de Intercambio de átomos: o mecanismo cíclico, al

realizarse, unos cuantos átomos (tres o más) situados más o menos en círculo se mueven coordinadamente de modo que todo el aro de átomos dá vuelta en una distancia interatómica. Un caso particular lo constituye el intercambio simple de lugar entre dos átomos. Este mecanismo se representa en la figura 1.2d.

La evidencia experimental ha indicado que el uso de vacancias es el método principal de difusión en metales. La rapidez de difusión es mucho más grande en una aleación enfriada con rapidez que para la misma aleación enfriada lentamente. La diferencia se debe al mayor número de vacancias que se tiene en la aleación por el enfriamiento rápido.

La rapidez de difusión de un metal en otro se especifica por el coeficiente de difusión. Este depende de una diversidad de variables, la más importante es la temperatura.

Como regla general, se puede establecer que el coeficiente de difusión se duplica por cada 20 grados centígrados de aumento en la temperatura. La energía asociada con las vibraciones térmicas, frecuentemente conocida como energía térmica, es suficiente para hacer que un átomo salga, mediante un salto, de su posición de equilibrio bajo condiciones adecuadas.

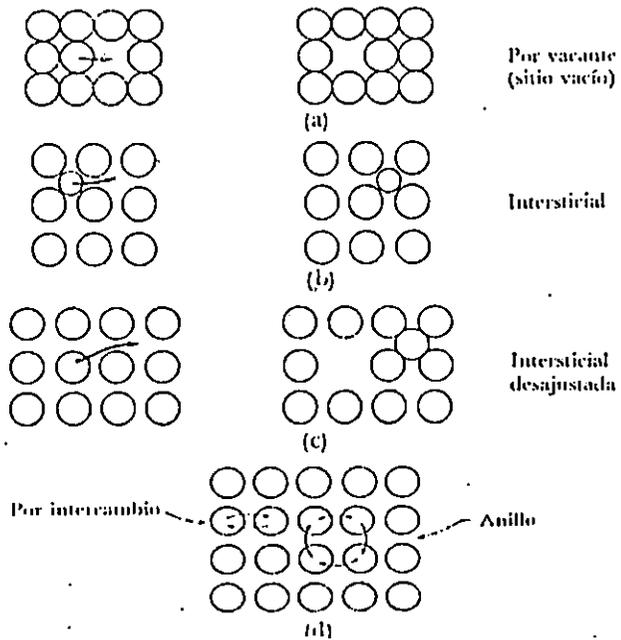


Fig. 1.2 Mecanismos de difusión en los Materiales

a) difusión por vacancias

b) difusión intersticial

c) difusión intersticial desajustada

d) Difusión por intercambio y en círculo

[9]

### 1.1.3 NITRURACION DE LOS ACEROS.

La nitruración es un proceso de endurecimiento superficial mediante el cual se introduce nitrógeno en la superficie de una pieza de aleación ferrosa al mantener el metal a una temperatura apropiada, en contacto con una atmósfera de nitrógeno atómico. El objeto del proceso de nitruración es provocar los efectos siguientes:

- a) La formación de una capa rica en nitruros complejos
- b) La constitución de una solución sólida de nitrógeno en la matriz del acero.

La temperatura de nitruración para todos los aceros está comprendida entre 500 y 590°C y consecuentemente no sufren ninguna transformación de fase en enfriamiento a temperatura ambiente.

El proceso de nitruración fué utilizado por primera vez a finales de los años 20 y desde entonces sus aplicaciones se han extendida continuamente debido al desarrollo de sus procesos, lo que ha permitido la aplicación a más tipos de aceros que para los que estaba ideada originalmente.

Los principales métodos empleados en este tratamiento son los siguientes:

- a) Nitruración en medio gaseoso, que solamente suministra

nitrógeno.

- b) Nitruración en baño de sales fundidas, que además del nitrógeno puede aportar pequeñas cantidades de carbono.
- c) Nitruración iónica.

Generalmente, el proceso de nitruración comprende las etapas siguientes:

- 1) Tratamiento térmico preliminar de las piezas: temple y revenido a alta temperatura (600 a 670 °C) por encima de la temperatura de nitruración.
- 2) Rectificado Preliminar (desbaste)
- 3) Eventual protección de zonas que deben permanecer libres de nitruración.
- 4) Nitrurado.
- 5) Rectificado final (terminación) para cumplir con las tolerancias dimensionales y geométricas; en algunos casos no resulta necesario.

## 1.2 VENTAJAS Y LIMITACIONES DEL PROCESO DE NITRURACION SOBRE OTROS PROCEDIMIENTOS DE ENDURECIMIENTO SUPERFICIAL.

La nitruración, comparada con otros procedimientos de endurecimiento superficial, tienen ciertas limitaciones y ventajas, tales como las siguientes:

1. Dureza. Después de la nitruración se consiguen durezas elevadas que no se obtienen por otros procedimientos de endurecimiento superficial, las cuales dependen de la composición del acero.

2. La diferencia entre las propiedades del núcleo y de la superficie es mayor en el TQT de nitruración que la que se consigue con el temple superficial.

3. Estabilidad Dimensional. Dado que la nitruración se realiza a temperaturas relativamente bajas y no necesita templado, la distorsión se reduce a un mínimo, ocurriendo algún crecimiento debido al volumen de la pieza endurecida, de tal modo que las piezas pueden maquinarse muy próximas a sus dimensiones finales antes de la nitruración, lo que no se puede realizar en la cementación.

4. Utilización de aceros especiales. Si se desea obtener dureza máxima deben utilizarse aceros que contengan elementos de aleación térmicamente estables (Aluminio, cromo, molibdeno, vanadio) ya que los aceros ordinarios obtienen menor dureza, así como los aceros al carbono, puesto que no se forman nitruros especiales.

5. Fragilidad de la capa endurecida. Debido a la aparición del

nitruro frágil  $\tau'$  ( $\text{Fe}_4\text{N}$ ) quien junto con la ferrita constituyen la braunita, nombrada así en honor a Hjalmar Braune quien la descubrió en 1905; la cual se forma al realizar el proceso de nitruración a temperaturas mayores que  $590^\circ\text{C}$ . El diagrama Fe-N se muestra en la figura 1.3

#### 1.2.1. MECANISMO DE FORMACION DE LA CAPA NITRURADA.

La formación del revestimiento difusivo durante el tratamiento termoquímico depende de muchos factores:

a) El medio inicial debe suministrar una cantidad suficiente de elemento difundidor en estado activo, el cual, después de absorbido, penetra en las profundidades del metal o aleación a saturar.

b) Durante la saturación difusiva prolongada de un elemento por otro surgen, de modo sucesivo capas monofásicas con diferente composición, así como también se forman ciertos compuestos intermetálicos con los átomos que se precipitan.

El tipo de compuesto que se genera y la cantidad, forma, tamaño y distribución del mismo son los principales responsables del cambio en las propiedades físicas y mecánicas de la superficie. Los productos que se forman modifican estrictamente la superficie

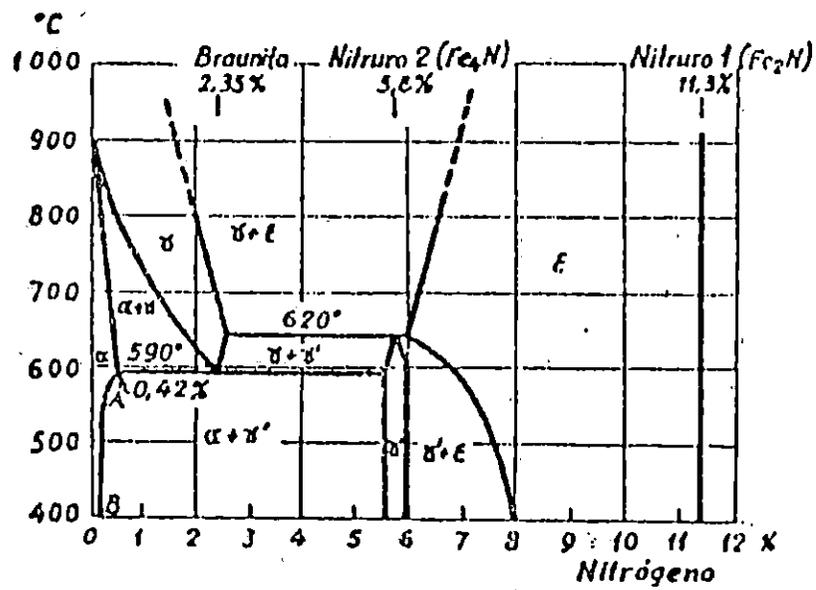


FIGURA .II.1  
Diagrama hierro-nitrógeno.

Fig. 1.3 Diagrama Fe - N

[5]

de la pieza, la parte más externa queda constituida por la llamada capa de compuestos (o capa blanca) y puede tener un espesor de varios micrones. Entre la capa blanca y el material base, se forma la llamada capa de difusión, cuyo espesor puede tener algunas décimas de milímetro. La capa blanca se muestra en la figura 1.4



Fig 1.4 Capa blanca

[14]

### 1.2.2 PROPIEDADES DE LA CAPA NITRURADA.

Las propiedades más notables de la capa nitrurada son las siguientes:

1. Dureza: el alto valor de dureza de la capa nitrurada se debe a la formación de la solución sólida y a la precipitación de los nitruros de los elementos de aleación, que deforman la red de la matriz y dificultan la deformación plástica, así como también a la gran solubilidad del nitrógeno en la ferrita aleada con los elementos de transición, lo que origina altas microtensiones que no pueden ser relajadas. Así, la solución sólida sobresaturada con nitrógeno es envejecida con el proceso de enfriamiento, causando la separación de la solución sólida  $\alpha$  de la fase  $\gamma'$  aleada y de los nitruros de los elementos de aleación, elevando la dureza.

2. Resistencia a la corrosión: La capa nitrurada presenta alta resistencia a la acción corrosiva del agua dulce, agua salada, vapor o atmósferas húmedas, por lo que se requiere una capa con una zona de nitruros bien desarrollada.

3. Resistencia al desgaste: La capa nitrurada posee alta resistencia al desgaste. La resistencia al desgaste del acero nitrurado es de 2 a 4 veces mayor que la del acero cementado.

Para esto se requiere una capa nitrurada con una zona

desarrollada de nitruros  $Fe_3N$ ,  $Fe_4N$  y  $Fe(N,C)$  con contenido reducido de nitrógeno.

4. Límite de resistencia a la fatiga: Debido a que la zona de nitruros y la de nitruración interna poseen un volumen específico mayor que el del núcleo, se originan en él grandes tensiones residuales de tracción y de compresión en la capa difusiva, lo que produce un incremento en el límite de fatiga hasta un 30 % en muestras lisas y más del 100 % en probetas con entalla.

El límite de fatiga es máximo cuando el espesor de la capa es relativamente pequeño. Al aumentar el espesor de capa, el límite de fatiga puede no variar o bien disminuir en un 10% a 20% a causa de la reducción de las tensiones de compresión en la capa, del aumento de las tensiones de tracción en el núcleo y del ablandamiento del núcleo.

### 1.3 NITRURABILIDAD.

El concepto de nitrurabilidad incluye la capacidad del acero para absorber nitrógeno y además, el incremento de dureza impartido por la absorción del mismo.

La adición de elementos de aleación influye en el valor de dureza superficial obtenido después del proceso de nitruración. En la

figura 1.5 se muestra esta influencia. El Al y el Ti tienen el mayor efecto, seguidos por el Cr, Mo y V.

En los aceros al Níquel se obtiene la misma dureza superficial que para los aceros simples al carbono (aproximadamente 400 HV).

En los aceros que contienen diferentes elementos de aleación se obtienen valores de dureza más altos, que si los elementos aleantes se utilizan separadamente.

La profundidad de nitruración disminuye con el incremento del contenido de elementos de aleación, tal como se muestra en la figura 1.6, Al y Ti, que tienen los mayores efectos en el incremento de la dureza, tienen una influencia retardante en la difusión del nitrógeno en el acero, a medida que se aumenta su contenido. El valor óptimo para dureza y profundidad de nitrurado se obtiene aproximadamente a 1% de Al, siendo éste el porcentaje usado normalmente en aceros para nitruración aleados con Al. La razón para los efectos inhibidores de los elementos aleantes es que restringen al nitrógeno como nitruro; el carbono, tiene un fuerte efecto inhibidor en la difusión del nitrógeno.

La microestructura influye en la nitrurabilidad de dos maneras:

- Un alto contenido de ferrita libre favorece la difusión del nitrógeno.
- Un bajo contenido de carbono en la estructura favorece la difusión del nitrógeno y la dureza.

Fig.1.6 Influencia de los elementos de aleación en la profundidad de nitruración. [3]

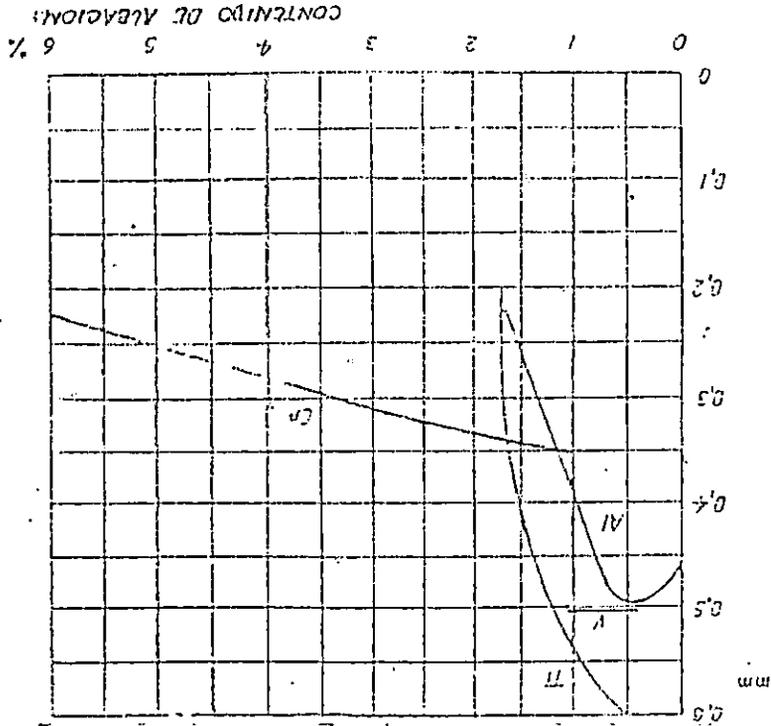
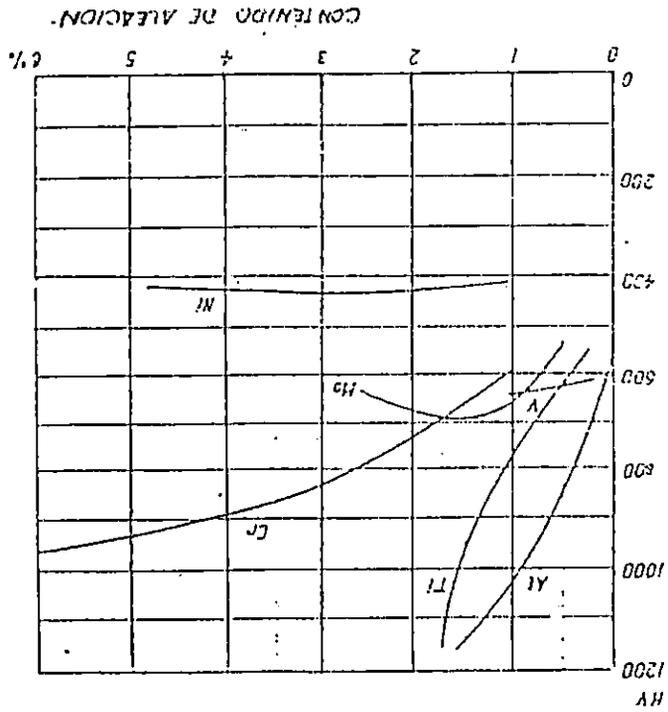


Fig.1.5 Influencia de los elementos de aleación en la dureza superficial obtenida después del proceso de nitruración. [3]



Usualmente los aceros aleados tratados térmicamente se emplean para nitruración, por ejemplo, los que han sido templados y revenidos a 500 - 600°C. En este rango de temperatura la precipitación y coagulación del Carburo tiene lugar.

Debido a que la precipitación del carburo comienza frecuentemente en las fronteras del grano, una fuerte barrera se forma en esos puntos, donde los efectos retardantes de la difusión se acentúan debido a que la difusión se impide por los nitruros y carbonitruros formados en las fronteras de grano.

El tamaño de grano y la distribución del carburo en el acero influye en la uniformidad obtenida después de la nitruración.

Con el incremento del tamaño de grano, los nitruros se precipitan en bandas anchas a lo largo de las fronteras de grano. Si los carburos ya se han precipitado en las fronteras de grano, el nitrógeno forma carbonitruros con el carburo, el cual por este medio incrementará en tamaño. Como resultado, los carbonitruros pueden desplazar los granos individuales en la capa superficial, así que la capa blanca se deformará o agrietará.

El efecto del tiempo de nitrurado en la profundidad de nitruración puede; para aceros de baja aleación, derivarse de la fórmula simple para la difusión:

$$D_n = K \sqrt{t} \quad (\text{EC. 1.1})$$

donde:

$D_n$  = Profundidad de nitruración.(mm)

$K$  = Constante.

$t$  = Tiempo (en horas).

La constante  $K$  es una función de la temperatura y el material.

La actividad del nitrógeno es otro de los factores controlados durante la nitruración. De acuerdo con las leyes que gobiernan la difusión, el grado de penetración del nitrógeno puede ser modificado en la capa más externa del acero.

#### 1.4 ACEROS SUCEPTIBLES DE NITRURADO.

De los elementos aleantes usados comúnmente en aceros comerciales, Aluminio, Cromo, Vanadio y Molibdeno son beneficiosos en nitruración, porque forman nitruros que son estables a temperaturas de nitruración.

El molibdeno, en adición a su contribución como un formador de nitruros, también reduce el riesgo de fragilización a temperaturas de nitruración. Otros elementos de aleación, tales como el níquel, cobre, silicio y manganeso, tienen pequeños, si hay alguno, efectos en las características de nitruración.

Aunque, a temperaturas apropiadas, todos los aceros son capaces de formar nitruros de hierro en presencia del nitrógeno, la

nitruración resulta ser más favorable en aquellos aceros que contienen uno o más de los principales elementos de aleación formadores de nitruros.

Dado que el Aluminio es el más fuerte formador de nitruros, de los elementos comunes de aleación, los aceros que contienen aluminio (0.85 a 1.50 % Al) producen los mejores resultados de nitruración en términos del contenido total de aleación.

Los aceros que contienen cromo, pueden aproximar estos resultados, si el contenido de cromo es bastante alto.

Los aceros al carbón simple (sin aleantes) no convienen para nitruración porque forman una capa extremadamente frágil que se resquebraja fácilmente.

Los siguientes aceros han sido nitrurados para aplicaciones específicas:

1. Aceros de baja aleación que contienen Aluminio
2. Aceros de baja aleación y medio carbono, que contienen cromo, de las series 4100, 4300, 5100, 6100, 8600, 8700, 9300 y 9800.
3. Aceros para trabajo en caliente conteniendo 5% Cr, tales como el H11, H12 y H13.
4. Aceros ferríticos, martensíticos e inoxidables de la

serie 400.

5. Aceros inoxidables austeníticos de la serie 300
6. Aceros inoxidables endurecidos por precipitación, tales como 17-4 PH, 17-7 PH y A-286.

Los aceros que contienen aluminio producen una capa nitrurada de muy alto endurecimiento y excelente resistencia al desgaste. Sin embargo, la capa nitrurada puede también tener baja ductilidad y, esta limitación debe ser considerada cuidadosamente en la selección de aceros que contengan aluminio.

En contraste, los aceros de baja aleación que contienen Cromo proveen una capa nitrurada con considerable más ductilidad pero con endurecimiento bajo. No obstante, estos aceros ofrecen una sustancial resistencia al desgaste y buenas propiedades antirozamiento.

Los aceros para herramientas,, tales como el H11 y el D2, producen un alto endurecimiento superficial con una excepcionalmente alta resistencia en el núcleo.

#### 1.5 PREVENCIÓN DE DEFECTOS DE NITRURACIÓN.

En el proceso de nitruración pueden surgir los siguientes defectos:

### 1.5.1 DEFORMACION Y ALABEO

Son mayores, cuánto más alta es la temperatura del proceso y mas gruesa la capa nitrurada.

Estos defectos se condicionan por los tópicos siguientes:

- a) Naturaleza de la capa nitrurada
- b) Composición del acero
- c) Estructura irracional de las piezas
- d) Protección asimétrica
- e) Colocación incorrecta de las piezas durante el nitrurado.
- f) Tratamiento térmico previo inadecuado.

A la disminución del alabeo contribuyen el descenso de la temperatura de saturación, reducción del espesor de capa, realización minuciosa del tratamiento térmico previo y la colocación de las piezas en el proceso de nitruración.

### 1.5.2. BAJO ENDURECIMIENTO SUPERFICIAL O CAPA POCO PROFUNDA.

El cual puede ser causado por:

- a) Composición inadecuada del acero.
- b) Microestructura impropia.
- c) Baja dureza del núcleo.
- d) Temperatura de nitruración excesivamente alta o baja.
- e) Tiempo insuficiente a la temperatura utilizada.

De otra manera, este problema puede ser solo aparente, ocurriendo

como resultado de impresiones en las pruebas, fallas en el ajuste del equipo, preparación inadecuada o posición inconveniente de la pieza, o el uso de una carga de prueba excesiva para la profundidad de capa.

#### 1.5.3. CAMBIO DIMENSIONAL EXCESIVO.

Puede ser causado por:

- a) Alivio inadecuado de esfuerzos previos a la nitruración.
- b) Diseño inapropiado de las piezas.
- c) Variaciones en el poder de absorción de la superficie.

#### 1.5.4. AGRIETAMIENTO Y ASTILLAMIENTO DE LAS SUPERFICIES.

Pueden ser causadas por:

- a) Diseño (Particularmente bordes puntiagudos)
- b) Descarburización de la superficie en el tratamiento térmico previo.
- c) Tratamiento térmico inadecuado.

#### 1.5.5. FRAGILIDAD Y DESCAMACION DE LA CAPA.

Se puede determinar por la pureza y calidad del metal y son causados por:

- a) Desviación respecto al régimen de nitruración.
- b) Elevada concentración de nitrógeno.
- c) Descarburación superficial antes de la nitruración.
- d) Sobrecalentamiento durante el tratamiento térmico previo.

- e) Estructura del acero.
- f) Composición del acero.

#### 1.5.6. DECOLORACION DE PIEZAS DE TRABAJO.

Puede ser causado por:

- a) Tratamiento previo de la superficie inadecuado e impropia.
- b) Limpieza inadecuada de las piezas.

#### 1.5.7. CAPA MAS PROFUNDA QUE LA PERMITIDA.

Puede ser por causada por una temperatura de nitruración demasiado baja o un tiempo de nitruración mayor que el necesario.

## CAPITULO II : DISEÑO DEL HORNO DE NITRURACION

Por lo común , un horno para nitruración por baño de sales consta de una estructura envolvente de acero, una puerta de acceso, un revestimiento refractario, elementos calefactores , controles e indicadores de temperatura y un sistema de extracción de gases.

Estos hornos pueden ser calentados por gas, aceite o electricidad, aunque se prefiere esta última ya que facilita un control más estrecho del proceso y no presenta el inconveniente de mantener a la pieza de trabajo en una cámara separada para evitar que esté en contacto con los gases.

Las ventajas que ofrecen los hornos con resistencia eléctrica se enuncian a continuación :

- a) Uniformidad en la distribución del calor.
- b) Facilidad para regular la temperatura.
- c) Eficiencia y limpieza.
- d) Ausencia de gases nocivos productos de la combustión.
- e) Facilidad de producir cualquier régimen de calefacción deseado.
- f) Facilidad de instalación.

Las componentes fundamentales de un horno eléctrico son :

- a) Resistencia eléctrica.

- b) Refractario.
- c) Instalación eléctrica.
- d) El conjunto regulador, el reóstato, contactor, etc.

## 2.1 DEFINICIÓN DE PARAMETROS DE DISEÑO DEL HORNO DE NITRURACION

Para realizar el diseño y la construcción del horno de nitruración, es necesario evaluar los siguientes aspectos :

### a. Tipo de nitruración

En base a lo especificado en el capítulo 1 , el proceso de nitruración se realizará por medio de sales fundidas.

### b. Temperatura inferior

Se considerará la temperatura ambiente exterior ( 27 °C )

### c. Temperatura Superior

La temperatura máxima de operación del horno se estimará en 700°C.

### d. Tiempo de realización del proceso

Se calcula una duración aproximada de 4 horas, sin tomar en cuenta el tiempo de precalentamiento del horno.

Este tiempo también dependerá del tipo de sales a utilizar en el proceso.

### e. Dimensiones del horno de nitruración

Las dimensiones del horno se limitan debido a que se utilizará parte de un barril de lámina como carcasa exterior del horno con las medidas siguientes :

Diámetro exterior = 580 mm

Altura = 850 mm

Espesor de lámina = 0.7938 mm

f. Tipo de servicio del horno

El horno se destinará para uso de laboratorio.

g. Voltaje y corriente a utilizar

Se empleará un voltaje de 220 voltios, de conexión trifilar, debido a que permite una mejor utilización de la corriente y a un menor costo de operación.

## 2.2 DIMENSIONAMIENTO DEL HORNO

Con el fin de utilizar materiales de fácil adquisición y bajo costo, se ha proyectado construir el horno de nitruración por sales a partir de un barril de lámina con una capacidad de 55 galones, el cual servirá como carcasa exterior del horno.

Como aislante se utilizará ladrillo refractario cuyas dimensiones son 228.6 mm x 114.3 mm x 63.5 mm (9" x 4.5" x 2.5"), fibra de vidrio de 25 mm de espesor y cemento refractario, por lo que las dimensiones del horno de nitruración serán las siguientes:

$$\phi \text{ exterior} = 580 \text{ mm} \quad \leftarrow$$

$$\phi \text{ interior} = 580 - (2(0.7938) + 2(114.3) + 2(10) + 2(14))$$

$\phi$  interior = 302.41 mm ◀

La altura del horno se estima en 640 mm, sin considerar la altura de la campana de extracción.

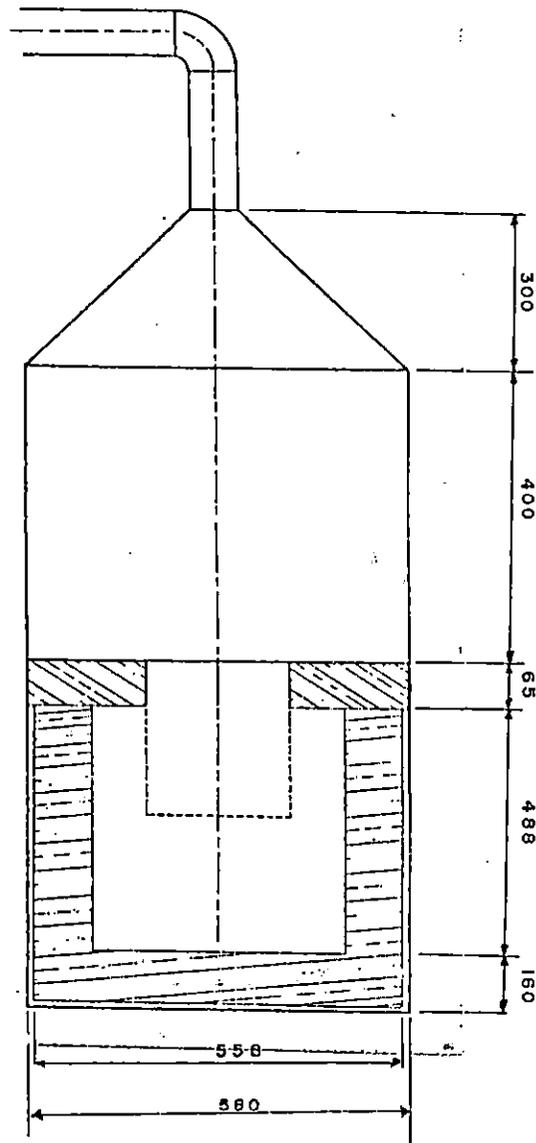
En base a las dimensiones anteriores, se realizará un esbozo de la estructura física del horno de nitruración, el cual se presenta en la figura 2.1.

Como puede observarse en la figura 2.1, el barril de lámina se emplea como carcasa exterior del horno, además se utilizarán ladrillos refractarios ácidos para conformar el aislante térmico de la base y la pared lateral del horno.

El cuerpo del horno lo constituyen la base y las paredes laterales hechas con ladrillo refractario, en el cual va empotrado el elemento calefactor (resistencia eléctrica). En la parte superior lleva una campana de extracción junto con un extractor incorporado al ducto de salida, que servirá para evacuar los gases productos de la reacción química hacia el medio ambiente.

#### 2.2.1 CALCULO DEL VOLUMEN DEL HORNO DE NITRURACION

Partiendo del hecho de utilizar un barril como carcasa exterior



cotas en mm.

Fig 2.1 Estructura física del Horno de Nitruración

del horno, éste tendrá forma cilíndrica, por lo que el cálculo del volumen del mismo se reducirá a la utilización de la fórmula siguiente :

$$V_{cil} = \pi r^2 h \quad (\text{Ec. 2.1})$$

donde :

V cil = volumen del cilindro (mm)

r = radio (mm)

h = altura (mm)

$\pi$  = una constante (3.1415926..)

adaptando la ecuación 2.1 a nuestro propósito, tendremos :

$$V_{cil} = \pi r_1^2 h - \pi r_2^2 h$$

$$V_{cil} = \pi (r_1^2 h - r_2^2 h) \quad (\text{Ec. 2.2})$$

donde :

$r_1$  = radio exterior (mm)

$r_2$  = radio interior (mm)

#### 2.2.1.1. CALCULO DEL VOLUMEN DEL CUERPO DEL HORNO

Utilizando la ecuación (2.2) y en base a las dimensiones establecidas anteriormente, tenemos :

$$V_h = \pi (290^2 \times 562 - 151^2 \times 488)$$

$$V_h = 36137312 \text{ mm}^3$$

$$V_h = 0.036137 \text{ m}^3$$

### 2.2.1.2 CALCULO DEL VOLUMEN DE LA TAPADERA DEL HORNO

Las dimensiones de la tapadera son :

$$\phi = 580 \text{ mm}$$

Por lo que

$$\begin{aligned}\phi_t &= 580 - ((2 \times 0.7938) + (2 \times 10) + (2 \times 168)) \\ &= 222.0 \text{ mm}\end{aligned}$$

Utilizando la ecuación (2.2) obtendremos :

$$\begin{aligned}V_t &= \pi((290^2 \times 64) - (111^2 \times 64)) \\ &= 14432024.26 \text{ mm}^3 \\ &= 0.014432 \text{ m}^3\end{aligned}$$

### 2.2.1.3 CALCULO DEL VOLUMEN TOTAL DEL HORNO

Sumando los volúmenes correspondientes al cuerpo (base y paredes laterales) y a la tapadera del horno de nitruración, se obtiene el volumen total del mismo, el cual será :

$$\begin{aligned}V &= V_n + V_t \\ &= 0.0361 + 0.0144 \\ &= 0.0505 \text{ m}^3\end{aligned}$$

### 2.2.2 DIMENSIONAMIENTO DEL CRISOL

Para la realización del proceso de nitruración, se necesita un recipiente de hierro dulce que contenga las sales que formarán el baño.

Las dimensiones del crisol son las siguientes :

$$d_1 = 216 \text{ mm}$$

$$d_2 = 150 \text{ mm}$$

$$d_3 = 170 \text{ mm}$$

$$h = 210 \text{ mm}$$

El cual tiene una capacidad aproximada de  $3677077.0 \text{ mm}^3$   
( $0.0037 \text{ m}^3$ ) (ver figura en pag. 19 del manual de construcción)

### 2.3 BALANCE TERMICO DEL HORNO DE NITRURACION

Cuando se calienta un horno, la energía térmica fluye en la estructura del refractario, lo que produce una diferencia de temperatura entre las superficies interiores y exteriores de las paredes.

Parte de esta energía es almacenada en la estructura del refractario y en sus bases, y la otra fluye a través de las paredes y tapas, siendo entregada al aire exterior por radiación

y convección.

La conducción del calor se lleva a cabo debido a que las moléculas que se mueven más rápido en la parte más caliente de un cuerpo comunican mediante impactos una parte de su energía a las moléculas adyacentes. Como la temperatura es una medida de la actividad molecular, el calor fluye de la parte caliente a la fría de un cuerpo y las moléculas más activas pierden algo de su energía, cediéndola a las moléculas menos activas. El calor se conduce a través de sólidos, líquidos y gases.

La convección se lleva a cabo porque un fluido en movimiento recoge energía de un cuerpo caliente y la lleva a un cuerpo frío.

La convección implica la transferencia de calor por medio de la mezcla de un fluido con otro. El movimiento de un fluido puede deberse en su totalidad a la diferencia de densidades que se presenta como resultado de una diferencia de temperaturas, tal como ocurre en la convección natural, o puede producirse artificialmente como en la convección forzada.

El calor radiante consiste en ondas electromagnéticas de la misma naturaleza que las de la luz y las ondas de televisión, que tienen longitudes de onda entre  $10^{-6}$  y  $10^{-9}$  m.

Todos los cuerpos radian calor de manera que la transferencia de calor por radiación ocurre porque un cuerpo caliente emite más calor que el que recibe o un cuerpo frío recibe más calor que el que emite.

### 2.3.1 FUNDAMENTOS DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR

La principal consideración en un proceso o situación que esté relacionado con la transferencia de energía, es la rapidez con que ésta tiene lugar, involucrando aspectos tales como tamaño del equipo, materiales de que está construido, equipo auxiliar requerido y otros, además de que tal equipo debe ser económico en su adquisición y diseño.

#### 2.3.1.1 TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCION

La transferencia de calor por conducción se realiza de dos maneras:

1. A través de la interacción molecular, en el cual el aumento del movimiento de una partícula a un nivel de energía (temperatura) más alto, imparte energía a las moléculas adyacentes que se encuentran en niveles de energía bajos.
2. A través de los "electrones libres", especialmente en los sólidos puramente metálicos. Esta concentración de

electrones libres varía considerablemente en las aleaciones y disminuye en los sólidos no metálicos.

La ecuación básica que describe este proceso, fué establecida por primera vez por Fourier, en 1822, en la siguiente forma :

$$\frac{q}{A} = -k \frac{dT}{dx} \quad (\text{Ec. 2.3})$$

donde :

- q = rapidez de transferencia de calor en la dirección de x (en watts o BTU/h)
- A = área normal a la dirección de flujo de calor (en m<sup>2</sup> o pie<sup>2</sup>)
- dT/dx = gradiente de temperaturas en la dirección de x (°K/m o en °F/pie)
- k = conductividad térmica (en W/m°K o en BTU/h-pie-°F)

La razón q/A se denomina *flujo de calor en la dirección de x* y sus unidades son W/m<sup>2</sup> o Btu/h-pie<sup>2</sup>. El signo negativo indica que el flujo de calor ocurre en la dirección de un gradiente negativo de temperatura.

#### 2.3.1.1.1 CONDUCCION EN EL ESTADO ESTABLE

Esto implica que las condiciones de temperatura, densidad y otras, sean independientes del tiempo en todos los puntos de la región de conducción.

A menudo, los problemas se simplifican a causa de la geometría de la región de conducción o a algunas simetrías en la distribución

de temperaturas, surgiendo casos unidimensionales, tales como las paredes de los hornos, elementos cilindricos y elementos esféricos, en los cuales la temperatura y el flujo de energía son funciones de una sola coordenada espacial.

### 2.3.1.1.2 CONDUCCION EN PAREDES COMPUESTAS

Es frecuente encontrar diseños de hornos que incluyen varias paredes, una que le proporcione rigidez estructural, una intermedia aislante y otra que le brinde buena apariencia exterior. Esta pared compuesta se muestra en la figura 2.2

Las relaciones de q son :

$$q = \frac{k_1 A}{L_1} (T_1 - T_2) = \frac{k_2 A}{L_2} (T_2 - T_3) = \frac{k_3 A}{L_3} (T_3 - T_4)$$

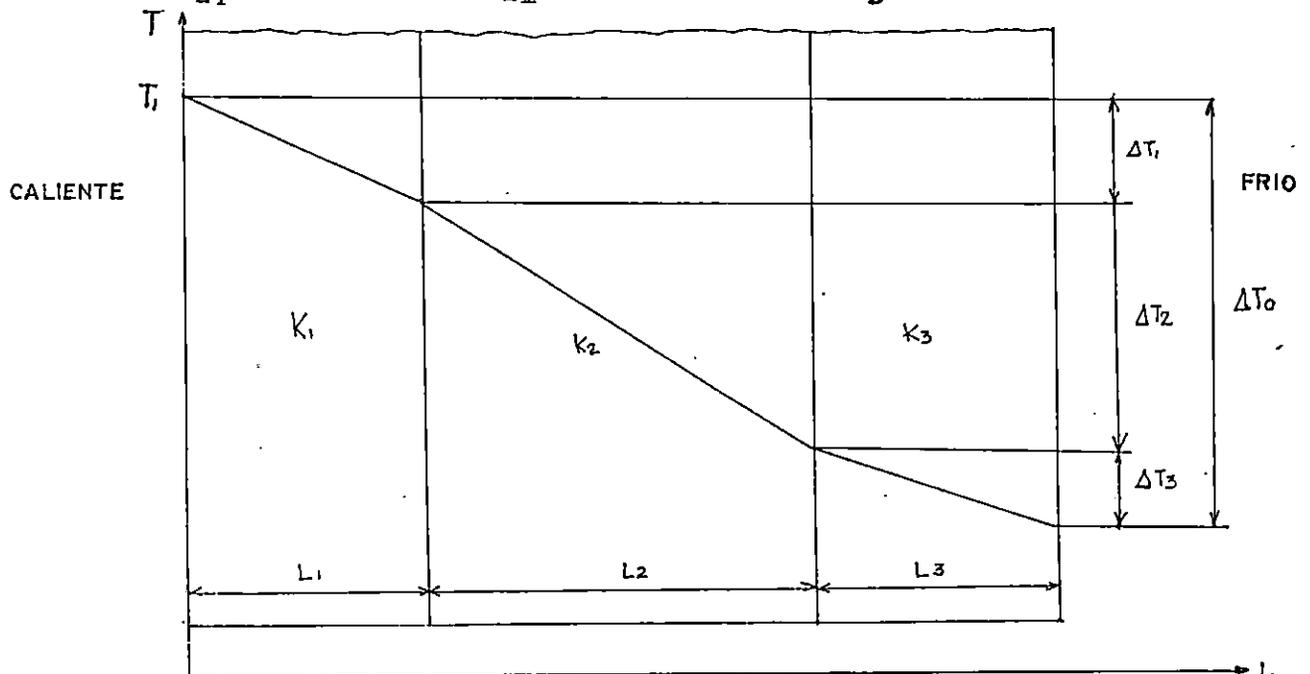


Figura 2.2 Conducción a través de una pared compuesta.

de donde obtenemos :

$$T_1 - T_2 = qx (L_1 / k_1 A)$$

$$T_2 - T_3 = qx (L_2 / k_2 A)$$

$$T_3 - T_4 = qx (L_3 / k_3 A)$$

Sumando estas expresiones tenemos que :

$$T_1 - T_4 = qx [L_1 / k_1 A + L_2 / k_2 A + L_3 / k_3 A] \quad (\text{Ec. 2.4})$$

por lo que, la ecuación (2.4) puede escribirse simultáneamente en la forma :

$$q = \frac{T}{\Sigma R \text{ térmica}} \quad (\text{Ec. 2.5})$$

donde  $R \text{ térmica} = L / kA$

Esta relación también es aplicable a la transferencia de calor en estado permanente de otras geometrías diferentes. Para el caso de un conductor cilíndrico, la resistencia térmica es :

$$R \text{ térmica} = \frac{\ln (r_o / r_i)}{2\pi kL} \quad (\text{Ec. 2.6})$$

### 2.3.1.1.3 CALCULO DEL CALOR POR CONDUCCION

#### A) PARA LA SUPERFICIE LATERAL

Se tiene que para el horno de nitruración, la configuración básica del horno es de un cilindro hueco de pared compuesta, tal como se muestra en la figura 2.3

Ahora de ecuación (2.5) tenemos :

$$T \text{ caliente} = 700^{\circ}\text{C}$$

$$T \text{ fría} = 27^{\circ}\text{C}$$

Para las conductividades térmicas : ( de tabla I de anexos)

$$\text{Concreto refractario } k_1 = 0.00118 \text{ Kw/m}^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Ladrillo refractario } k_2 = 0.00118 \text{ Kw/m}^{\circ}\text{C}$$

$$\text{fibra de vidrio } k_3 = 0.0000381 \text{ Kw/m}^{\circ}\text{C}$$

$$\text{barril de lámina } k_4 = 0.0294 \text{ Kw/m}^{\circ}\text{C}$$

Para los radios :

$$r_1 = 151 \text{ mm}$$

$$r_2 = 161 \text{ mm}$$

$$r_3 = 275 \text{ mm}$$

$$r_4 = 289 \text{ mm}$$

$$r_5 = 290 \text{ mm}$$

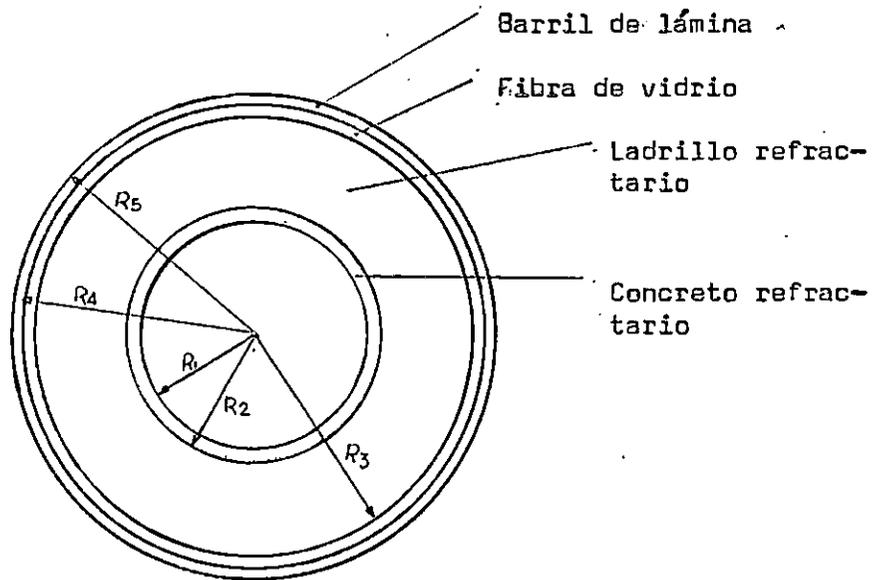


Figura 2.3 sección transversal mostrando la pared compuesta del horno de nitruración.

Sustituyendo valores tenemos :

$$\frac{q}{L} = \frac{2 \pi ( 700 - 27 )}{\frac{\ln(161/151)}{0.00118} + \frac{\ln(275/161)}{0.00118} + \frac{\ln(289/275)}{0.0000381} + \frac{\ln(290/289)}{0.0294}}$$

$$q/L = 2.3344 \text{ kw/m}$$

Para una longitud de 0.64 m :

$$q = (2.3344)(0.64)$$

$$q = 1.4940 \text{ Kw}$$

Es necesario aclarar que el valor de 700°C es la temperatura máxima que se espera alcanzar en el proceso de nitruración, considerando al medio circundante al horno a una temperatura de 27°C.

B) PARA LA TAPADERA :

Las pérdidas por la tapadera se pueden calcular aplicando directamente la ecuación :

$$q = \frac{k ( T \text{ caliente} - T \text{ fría} )}{L}$$

Para la tapadera se supone un espesor medio uniforme, considerando  $A = \pi r_1^2$  y  $L = ( L_1 + L_2 )$ , sus espesores son respectivamente :

$$L_1 = 0.000793 \text{ m}$$

$$L_2 = 0.0632069 \text{ m}$$

por lo que :

$$q = \frac{(700 - 27) \pi (0.151)^2}{\frac{0.0007931}{0.0294} + \frac{0.0632069}{0.00118}}$$

$$q = 0.90198 \text{ Kw}$$

C) PERDIDAS DE CALOR HACIA LA BASE

Se supuso que al fondo, el horno se fabricará recubriendo la base del barril de lámina con ladrillo refractario , así tenemos :

$$L_1 = 0.0007931 \text{ m}$$

$$L_2 = 0.1600000 \text{ m}$$

luego :

$$q = \frac{(700 - 27) \pi (0.29)^2}{\frac{0.160}{0.00118} + \frac{0.0007931}{0.0294}}$$

$$q = 1.3111 \text{ Kw}$$

Por lo tanto, las pérdidas totales son :

$$q = (1.4940 + 0.90198 + 1.3111) \text{ Kw}$$

$$q = 3.7071 \text{ Kw}$$

#### 2.3.1.2 TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCION

La transferencia de calor por convección es una combinación de los fenómenos de conducción térmica, movimiento de un fluido y la mezcla de éste. Existen dos tipos de convección: la llamada convección libre, en la que los cambios de densidad originan el movimiento de masas en el fluido, y la convección forzada, en la que un dispositivo mecánico (bomba o ventilador) produce el movimiento del fluido.

La expresión que corresponde al flujo convectivo de calor no tiene el carácter de ley física, sino que es sólo una ecuación empírica. El flujo térmico convectivo  $q_c$ , es producto de tres

términos :

1. El área de la superficie de contacto entre sólido y fluido, A.
2. La diferencia entre la temperatura de la superficie sólida,  $T_s$  y la temperatura del fluido a cierta distancia de dicha superficie  $T_\infty$ .
3. El coeficiente de convección térmica ( promedio )  $h_c$

La expresión empírica es :

$$q_c = h_c A (T_s - T_\infty) \quad (\text{Ec. 2.7})$$

#### 2.3.1.2.1 CONVECCION NATURAL

La transferencia de calor por convección natural está gobernada por el área, la forma y la posición de la superficie; y la diferencia de temperatura entre la superficie y el aire.

Una expresión empírica útil para la razón de transferencia de calor por convección entre una superficie y un fluido, es :

$$q_c = h_c A \Delta T \quad (\text{Ec. 2.8})$$

#### 2.3.1.2.2 CALCULO DE $h_c$

El coeficiente de convección térmica  $h_c$ , puede calcularse mediante la expresión :

$$h_c = c \left( \frac{\Delta T}{L} \right)^{\frac{1}{4}} \quad (\text{Ec. 2.9})$$

para planos y cilindros verticales : (para  $L > 0.4$ )

$$h_c = 1.217 \left( \frac{\Delta T}{L} \right)^{\frac{1}{4}} \quad (\text{Ec. 2.10})$$

donde :

$L$  = longitud de la superficie (m)

$T$  = diferencia de temperatura ( $T_s - T_\infty$ )

siendo los valores respectivos para el horno de nitruración los siguientes :

$$T_s = 60^\circ\text{C} \quad (\text{por seguridad industrial})$$

$$T_\infty = 27^\circ\text{C}$$

por lo tanto :

$$h_c = 1.217 \left( \frac{60 - 27}{0.64} \right)^{\frac{1}{4}}$$

$$h_c = 3.261175 \quad \text{Kcal/h-m}^2\text{-}^\circ\text{C}$$

aplicando el factor de conversión  $1 \text{ Kcal} = 1.163 \times 10^{-3} \text{ Kwh}$

tenemos :

$$h_c = 3.8 \times 10^{-3} \quad \text{Kw/m}^2\text{-}^\circ\text{C}$$

2.3.1.2.3 TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCION A TRAVES DE LA SUPERFICIE LATERAL.

Aplicando la ecuación (2.8) tenemos, para los valores siguientes:

$$A = 2 \pi R_{ext} L$$

$$A = 2 \pi (0.58)(0.64)$$

$$A = 1.166 \text{ m}^2$$

Luego :

$$q_c = (3.8 \times 10^{-3}) (1.166) (60 - 27)$$

$$q_c = 0.146 \text{ Kw}$$

2.3.1.2.4 TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCION A TRAVES DE LA TAPADERA

Para un disco circular  $L = 0.9D$  , por lo que :

$$h_c = 1.32 \left( \frac{T}{0.9D} \right)^{\frac{1}{4}} \quad (\text{Ec. 2.11})$$

$$h_c = 1.32 \left( \frac{(60 - 27)}{0.9(0.58)} \right)^{\frac{1}{4}}$$

$$h_c = 3.72 \quad \text{w/m}^2\text{-}^{\circ}\text{C}$$

luego :

$$q_c = 3.72 \frac{\pi}{4} \left[ (0.580^2 - (0.2224)^2) \right] \quad (33)$$

$$q_c = 0.02768 \text{ Kw}$$

Las pérdidas totales por convección serán :

$$q_c = 0.146 + 0.02768 \quad \text{Kw}$$

$$q_c = 0.1737 \quad \text{Kw}$$

### 2.3.1.3 TRANSFERENCIA DE CALOR POR RADIACION

La radiación es la emisión de energía en forma de ondas electromagnéticas. Todos los cuerpos sobre el cero absoluto radian.

La radiación incidente sobre un cuerpo puede ser absorbida, reflejada y transmitida. Un cuerpo caliente transmite la energía por radiación y también puede ser transmitida por radiación a otro separado de éste por un medio transparente. (como el aire) La emisión de calor desde el fuego de un horno cuando la puerta de su cámara está abierta, es un ejemplo.

La radiación involucrada en la transferencia de calor, cubre un "espectro" que es una extensión, más allá del extremo rojo del "espectro visible" o radiación invisible de calor. Sus unidades están en Angstrom ( $\text{\AA}$ ). La unidad Angstrom es de  $10^{-10}$  metros. La radiación de las longitudes de onda más grandes que  $7000 \text{\AA}$  son aquellas de la porción infrarroja del espectro, invisible al ojo humano pero capaces de afectar las placas fotográficas.

La radiación térmica ocurre dentro del rango de los 7500 a

53000A.

A muy altas temperaturas, la radiación juega un papel predominante en la transferencia de calor, no así a bajas temperaturas donde la conducción y convección tienen la mayor contribución a la transferencia de calor total. Por lo anterior, tampoco debe despreciarse el efecto de la radiación a baja temperatura ya que, desde la superficie relativamente fría de una tubería de vapor, la superficie de radiación no necesita ser visiblemente rojo-caliente o aún caliente en la zona infrarroja, para radiar calor.

La capacidad de un cuerpo para absorber energía calorífica es de un significado particular. Si un cuerpo absorbe toda la energía que baña su superficie se llama un "cuerpo negro" o radiador ideal.

La absorpsividad ( $\alpha$ ) de un cuerpo negro toma como máximo valor posible, la unidad. También tal cuerpo es un radiador perfecto, un emisor de energía radiante, y se establece que tiene una emisividad ( $\epsilon$ ) de la unidad, por lo tanto  $\epsilon = \alpha$

La absorpsividad ( $\alpha$ ) de un cuerpo cualquiera se define como la razón de la potencia emisiva del cuerpo a la de un cuerpo negro así :

$$\alpha = \frac{E}{E_b} \quad (\text{Ec. 2.12})$$

Esta razón también se define como la emisividad del cuerpo.

Stefan, encontró experimentalmente que la energía total radiante emitida por un cuerpo negro, variaba según la cuarta potencia de la temperatura absoluta del cuerpo.

Boltzmann desarrolló la base teórica, y el resultado es lo que se conoce como la "Ley de Stefan - Boltzmann" , que se enuncia :

$$E_b = \sigma T^4 \quad (\text{Ec. 2.13})$$

donde :

$E_b$  = energía radiada por unidad de tiempo y área

$\sigma$  = constante de Stefan-Boltzmann ( $5.669 \times 10^{-8}$ ) W/m<sup>2</sup>-°C

Aplicando la ley a un cuerpo negro a la temperatura absoluta  $T_1$  dentro de los alrededores del cuerpo negro a la temperatura absoluta  $T_2$  , la transferencia de calor está dada por la ecuación:

$$q = \sigma A (T_1^4 - T_2^4) \quad (\text{Ec. 2.14})$$

donde :

$q$  = transferencia de calor (W)

$T_1$  = temperatura del cuerpo (°K)

$T_2$  = temperatura de los alrededores del cuerpo (°K)

$A$  = área del cuerpo (m<sup>2</sup>)

En la tabla II de anexos se muestran los valores de emisividad para algunas superficies sólidas.

### 2.3.1.3.1 PLANOS PARALELOS INFINITO

Cuando se consideran dos planos paralelos infinitos, ambas áreas son iguales entre sí ( $A_1 = A_2$ ) y el factor de forma para radiación es unitario puesto que toda la radiación que sale de un plano llega al otro. La red que representa dicho caso es :

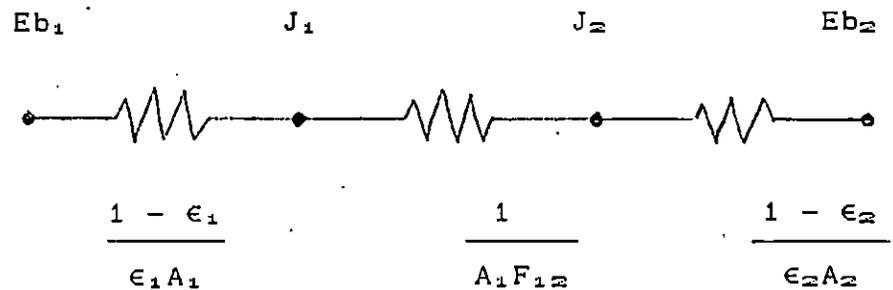


Fig. 2.3 Representación de la red

donde :

$$\frac{1 - \epsilon_1}{\epsilon_1 A_1} , \frac{1 - \epsilon_2}{\epsilon_2 A_2} = \text{resistencia de superficie}$$

$$\frac{1}{A_1 F_{12}} = \text{resistencia de espacio}$$

El flujo de calor por unidad de área se obtiene haciendo  $A_1 = A_2$  y  $F_{12} = 1$ , así :

$$= \frac{\epsilon_m - \epsilon_n}{\Sigma r} = \frac{Eb_1 - Eb_2}{\frac{1-\epsilon_1}{\epsilon_1 A_1} + \frac{1}{A_1 F_{12}} + \frac{1-\epsilon_2}{\epsilon_2 A_2}} \quad (\text{Ec 2.15a})$$

$$= \frac{\sigma A_1 (T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1}{\epsilon_1} + 1 + \frac{1}{F_{12}} + \frac{A_1}{A_2} \left( \frac{1}{\epsilon_2} - 1 \right)} \quad (\text{Ec 2.15b})$$

Quando dos cilindros concéntricos intercambian calor, se puede aplicar la segunda expresión de la ecuación (2.15b) haciendo  $A_1/A_2$  tender a cero, considerando que  $A_2 \gg A_1$ , por lo que resulta la siguiente relación :

$$q = \sigma A_1 \epsilon_1 (T_1^4 - T_2^4) \quad (\text{Ec. 2.16})$$

Esta expresión se utiliza para calcular la energía perdida por radiación de un cuerpo caliente a un cuarto grande o al medio ambiente.

### 2.3.1.3.2 CALCULO DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR POR RADIACION

Las pérdidas de calor por radiación en el horno de nitruración son debidas a las paredes exteriores del mismo, las cuales están constituidas por la tapadera y el área lateral.

Aplicando la ecuación (2.16) y aplicando las condiciones de temperaturas supuestas de 27°C y 60°C, para el ambiente y la carcasa exterior del horno respectivamente, tenemos :

#### 2.3.1.3.3 PERDIDAS DE CALOR DEBIDO A LA PARED LATERAL

Para las condiciones siguientes :

$$A = 2\pi rL = 2\pi(0.29)(0.562) = 1.024 \text{ m}^2$$

$\epsilon = 0.82$  (para lámina de acero), de tabla II ( anexos)

$$T_1 = 300^\circ\text{K}$$

$$T_2 = 333^\circ\text{K}$$

$$\sigma = 5.669 \times 10^{-8} \text{ w/m}^2\text{-}^\circ\text{K}$$

entonces :

$$q_1 = 199.75 \text{ w}$$

#### 2.3.1.3.4 PERDIDAS DE CALOR DEBIDAS A LA TAPADERA :

Donde :

$$A = \pi (r_2 - r_1)^2 = \pi(0.29 - 0.0765)^2 = 0.1432 \text{ m}^2$$

luego :

$$q_t = 27.93 \text{ w}$$

Por lo que las pérdidas totales por radiación hacia el ambiente son:

$$q_{rad} = q_1 + q_e$$

$$q_{rad} = 0.2277 \text{ Kw}$$

Por lo que las pérdidas totales de calor son :

$$q_t = q_{cond} + q_{conv} + q_{rad}$$

$$q_t = 3.7071 + 0.1737 + 0.2277 \quad \text{Kw}$$

$$q_t = 4.1085 \text{ Kw}$$

#### 2.3.1.4 CALCULO DEL CALOR EN ESTADO TRANSITORIO

El régimen transitorio se caracteriza por el cambio de las propiedades con respecto al tiempo, lo cual se debe a la acumulación.

Uno de los métodos más utilizados para obtener los cambios de la temperatura con respecto al tiempo y a la posición, es el método desarrollado por E. Schmidt, el cual parte de la ecuación básica de la conducción :

$$\frac{dT}{d\theta} = \alpha \frac{d^2T}{dx^2} \quad (\text{Ec. 2.17})$$

y la convierte a :

$$\frac{\Delta T_{\theta}}{\Delta \theta} = \alpha \frac{\Delta^2 T_x}{\Delta x^2} \quad (\text{Ec. 2.18})$$

donde :

$$\begin{aligned} \Delta T_{\theta} &= (T_{x, \theta+1}) - (T_{x, \theta}) \\ T_{x, \theta+1} &= \text{temperatura en el tiempo } \theta+1 \text{ a la distancia } x \\ T_{x, \theta} &= \text{temperatura en el tiempo } \theta \text{ a la distancia } x \\ \Delta T_x &= (T_{x+1, \theta}) - (T_{x, \theta}) \\ T_{x+1, \theta} &= \text{temperatura en el tiempo } \theta \text{ en la posición } x + 1 \\ T_{x, \theta} &= \text{temperatura en el tiempo } \theta \text{ en la posición } x \end{aligned}$$

Desarrollando la ecuación anterior se obtiene :

$$(T_{x, \theta+1}) - (T_{x, \theta}) = \alpha \frac{\Delta \theta}{\Delta x^2} [(T_{x+1, \theta}) - (T_{x, \theta}) - (T_{x-1, \theta}) - (T_{x, \theta})]$$

Si los incrementos de distancia y tiempo se toman de manera que:

$$\alpha \frac{\Delta \theta}{\Delta x^2} = \frac{1}{2}$$

que equivale a la expresión :

$$\theta = x^2 / 2\alpha$$

donde :

$$\begin{aligned} \theta &= \text{constante de tiempo (h)} \\ \alpha &= \text{difusividad térmica (m}^2/\text{h)} \end{aligned}$$

La ecuación se reduce a :

$$T_{x, \theta+1} = \frac{1}{2} [(T_{x+1, \theta}) + (T_{x-1, \theta})] \quad (\text{Ec. 2.19})$$

esta es la ecuación de método gráfico que indica que la temperatura en cualquier punto a un tiempo dado es la media aritmética de las temperaturas en los puntos situados, durante el incremento anterior de tiempo.

#### 2.3.1.4.1 CALCULO DE TEMPERATURAS

Sea :

$$k_{eq} = \frac{\sum L_i}{\sum L_i/k_i}$$

y para los espesores y sus respectivas conductividades (Tabla I) tenemos :

$$\begin{aligned} K_{eq} &= 2.937 \times 10^{-4} \text{ Kw/m}^2\text{°C} \\ \tau &= 2082.4 \text{ Kg/m} \quad (\text{ref. 20}) \\ C_p &= 0.000279 \frac{\text{Kw-h}}{\text{Kg-°C}} \quad (\text{ref. 20}) \end{aligned}$$

La difusividad térmica se calcula mediante la expresión :

$$\alpha = \frac{K_{eq}}{\tau C_p} \quad (\text{Ec. 2.20})$$

Estos valores de  $\tau$  y  $C_p$  son para el ladrillo refractario comercial.

Para la construcción de la gráfica ,se requiere de una distancia artificial, la cual se calcula así:

$$D_a = \frac{K_{eq}}{h} \quad (\text{Ec. 2.21})$$

donde :

$K_{eq}$  = conductividad térmica equivalente (Kw/m-°C)  
 $h$  = coeficiente de película (Kw/m<sup>2</sup>-°C)  
 $D_a$  = distancia artificial (m)

El coeficiente de película ,o coeficiente convectivo, en unidades SI es :

$$h_c = 3.9 \times 10^{-3} \text{ Kw/m}^2\text{-}^{\circ}\text{C}$$

Por lo que al utilizar las ecuaciones mencionadas ,obtendremos:

$$D_a = 77.2900 \text{ mm}$$

$$\alpha = 5.055 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{h}$$

Si :

x = Espesor de la pared/n capas

$$x = \frac{138.7938}{8} = 17.34 \text{ mm } ( 1.734 \times 10^{-2} \text{ m} )$$

Entonces el intervalo de tiempo será :

$$\theta = \frac{(1.734 \times 10^{-2})^2}{2(5.055 \times 10^{-4})}$$

$$\theta = 0.2974 \text{ h } (17.84 \text{ min})$$

Quiere decir que el número de intervalos para una hora serán :

$$\frac{60}{17.84} = 3.36 \text{ periodos} = 4 \text{ periodos}$$

Las temperaturas estimadas para cada hora se presentan en la tabla 2.1

TABLA 2.1

tiempo (hr)	velocidad(°C/s)	Temperatura inicial (°C)	temperatura final (°C)
1	100	27	127
2	100	127	227
3	100	227	327
4	150	327	477
5	150	477	627
5.5	150	627	702

Siendo :

$$T_{s'} = \frac{1}{2} ( T_s + T_{\infty} )$$

$$T_{1'} = \frac{1}{2} ( T_s + T_2 )$$

$$T_{2'} = \frac{1}{2} ( T_1 + T_3 )$$

$$T_{3'} = \frac{1}{2} ( T_2 + T_4 )$$

$$T_{4'} = \frac{1}{2} ( T_3 + T_5 )$$

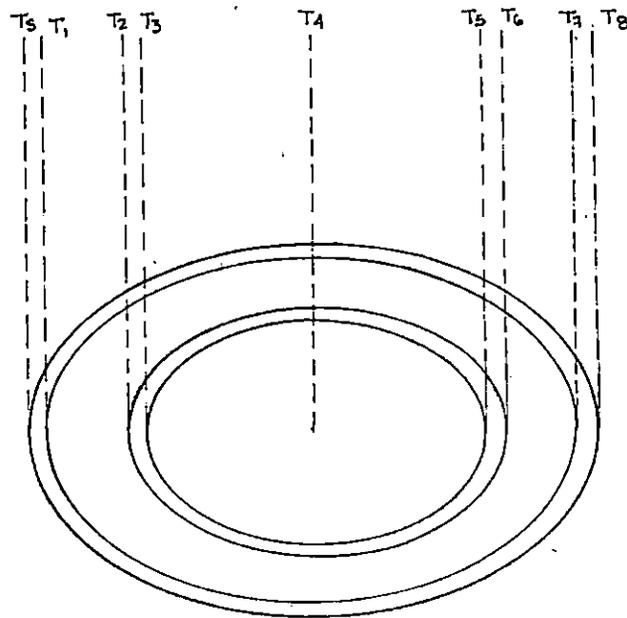


Figura 2.4 Distribución de temperaturas en el horno de nitruración.

como el sistema es simétrico :

$$T_8 = T_1$$

$$T_2 = T_6$$

$$T_1 = T_7$$

$$T_3 = T_5$$

En la figura 2.5 se muestra la Gráfica del método de Schmidt

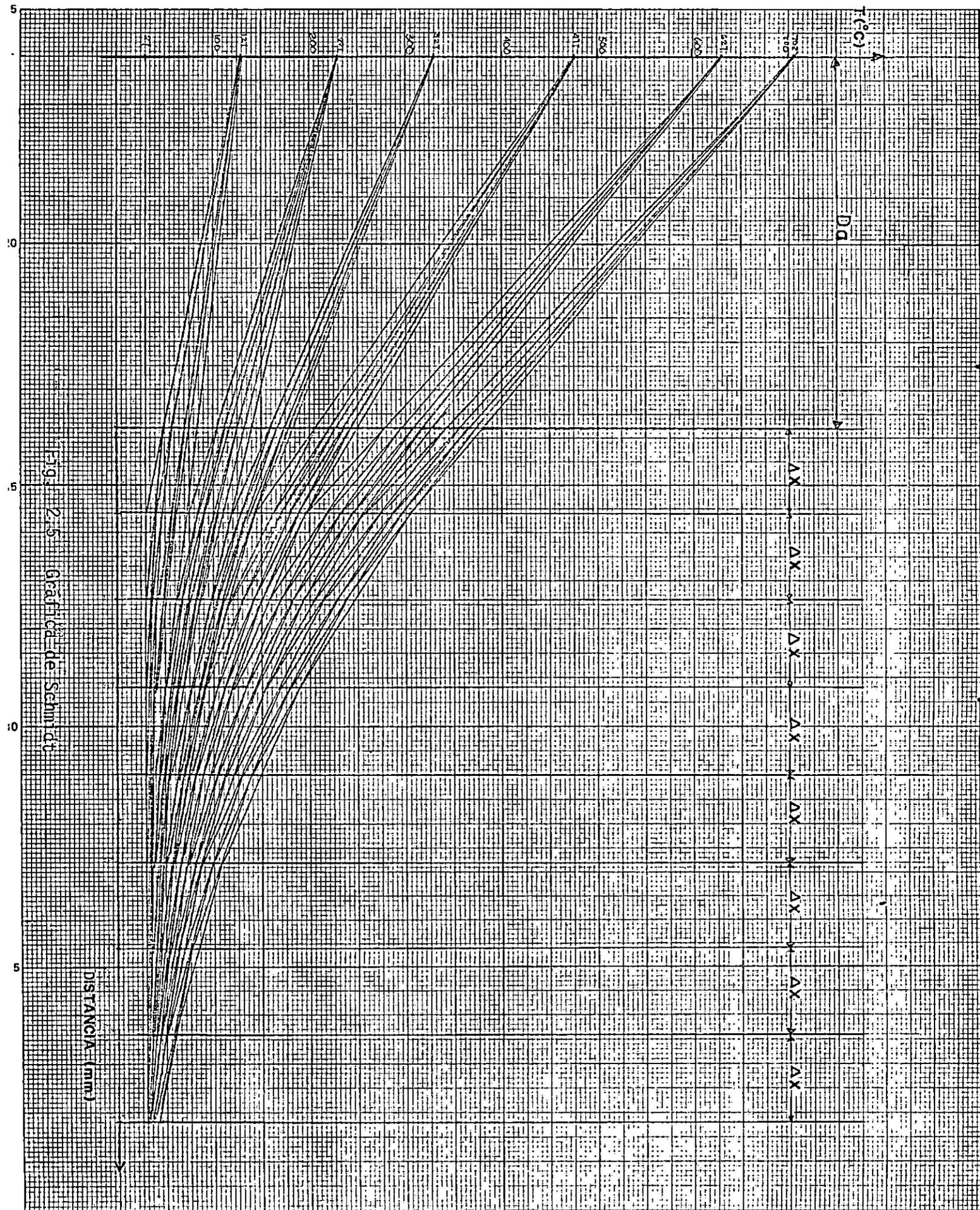


Fig. 2.5 Gráfica de Schmitt

2.4 REQUERIMIENTOS DE CALOR DE LA CARGA

Los requerimientos de calor de la carga del horno de nitruración se calculan utilizando la expresión :

$$Q = m C_p \Delta T \quad (\text{Ec. 2.22})$$

donde :

- Q : requerimientos de calor (Kw)
- m : masa de las sales (Kgmol)
- C<sub>p</sub> : capacidad calorífica (Kw-h/Kgmol-°C)
- ΔT : diferencia de temperaturas (°C)

En peso, la composición típica de las sales para nitruración es:

- NaCN..... 61 %
- K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>..... 15 %
- KCl..... 24 % (Ref. 13 )

calculando la fracción mol para cada componente tenemos :

TABLA 2.2 FRACCIONES MOL

compuesto	frac. peso	P.M.	grmol	frac. mol
NaCN	0.61	49.02	1.2444	0.7430
KCl	0.24	74.56	0.3219	0.1922
K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0.15	138.20	0.1085	0.0648
TOTAL			1.6748	1.0000

#### 2.4.1 CALCULO DEL Cp

Para calcular el Cp promedio se utilizará la expresión siguiente:

$$C_p = f_{m_{NaCN}} C_{p_{NaCN}} + f_{m_{KCl}} C_{p_{KCl}} + f_{m_{K_2CO_3}} C_{p_{K_2CO_3}}$$

(Ec. 2.23)

De Tablas de propiedades de compuestos inorgánicos tenemos :

$$C_{p_{NaCN}} = 0.0152 \text{ Kw-h/Kgmol } ^\circ\text{C}$$

$$C_{p_{KCl}} = 1.77 \times 10^{-5} \text{ Kw-h/Kgmol } ^\circ\text{C}$$

$$C_{p_{K_2CO_3}} = 0.0348 \text{ Kw-h/Kgmol } ^\circ\text{C}$$

Por lo que, el Cp del compuesto sería :

$$\begin{aligned} C_{p_c} &= 0.7430(0.0152) + 0.1922(1.77 \times 10^{-5}) + 0.0648(0.0348) \\ &= 1.355 \times 10^{-2} \text{ Kw-h/Kgmol } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

#### 2.4.1 CALCULO DE LAS DENSIDADES

De tablas se obtuvieron los siguientes valores de densidades relativas:

$$f_{NaCN} = \text{-----}$$

$$f_{KCl} = 1.29$$

$$f_{K_2CO_3} = 2.29$$

Si  $f_{agua} = 1000 \text{ Kg/m}^3$  , las densidades absolutas serán :

$$f_{KCl} = 1290 \text{ Kg/m}^3$$

$$f_{K_2CO_3} = 2290 \text{ Kg/m}^3$$

la densidad promedio del compuesto será :

$$\begin{aligned} \rho_p &= f_{m_{K_2CO_3}} \rho_{K_2CO_3} + f_{m_{KCl}} \rho_{KCl} & (\text{Ec. 2.24}) \\ &= 0.0648 (2290) + 0.1922 (1290) \\ &= 396.33 \text{ Kg/m}^3 \end{aligned}$$

El volumen efectivo del crisol es :

$$V_c = \frac{1}{3} (\pi \phi^2 h_c)$$

donde  $h_c$  es la altura hasta donde se llenará de sales, basándose en el hecho de que el crisol no debe llenarse a más de dos terceras partes de su capacidad.

Por lo que  $h_c = 0.13 \text{ m}$  y  $\phi_c = 0.15 \text{ m}$ , entonces :

$$V_c = 2.2973 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

luego, procederemos a calcular la masa de sales necesaria para llenar el crisol a 2/3 partes, mediante la expresión :

$$m = \rho V_c \quad (\text{Ec. 2.25})$$

por lo que, al sustituir los valores respectivos, tendremos :

$$\begin{aligned} m &= 396.33 (2.2973 \times 10^{-3}) \\ &= 0.9105 \text{ Kg} \end{aligned}$$

luego convirtiendo este valor de masa en grmol tenemos :

$$m(\text{Kgmol}) = m(\text{Kg}) / \text{PM}$$

donde PM es el peso molecular del compuesto. Entonces

$$PM_c = f_{mNaCN} PM_{NaCN} + f_{mKCl} PM_{KCl} + f_{mK_2CO_3} PM_{K_2CO_3} \quad (\text{Ec. 2.26})$$

$$= 0.7430 (49.02) + 0.1922 (74.56) + 0.0648 (138.20)$$

$$= 59.7077 \text{ Kg/Kgmol}$$

por lo que

$$m \text{ (Kgmol)} = 0.9105 / 59.7077$$

$$= 1.5249 \times 10^{-2} \text{ Kgmol}$$

entonces, sustituyendo los valores calculados de  $\int c$ ,  $m$  y  $C_p$  en la ecuación (2.22) obtendremos :

$$Q = 1.5249 \times 10^{-2} (1.4 \times 10^{-2}) (600 - 27)$$

$$Q = 0.1464 \text{ Kw-h}$$

para un tiempo estimado de calentamiento y proceso de 7 horas, el calor requerido por la carga será:

$$Q = 1.0248 \text{ Kw}$$

El calor latente de fusión del compuesto será calculado de la siguiente manera :

$$Q_f = Q_{fNaCN} + Q_{fK_2CO_3} + Q_{fKCl} \quad (\text{Ec. 2.27})$$

por lo que, al sustituir los siguientes valores en la expresión (2.27), tendremos :

$$Q_{fNaCN} = m_{NaCN} Q_{1NaCN}$$

$$Q_{fKCl} = m_{KCl} Q_{1KCl}$$

$$Q_{fK_2CO_3} = m_{K_2CO_3} Q_{1K_2CO_3}$$

Siendo:

$$Q_{\text{NaCN}} = 0.0051 \text{ Kw-h/mol}$$

$$Q_{\text{K}_2\text{CO}_3} = 0.0091 \text{ Kw-h/mol}$$

$$Q_{\text{KCl}} = 0.0074 \text{ Kw-h/mol}$$

finalmente :

$$Q_r = 0.0098 \text{ Kw-h}$$

para el mismo tiempo estimado en 7 horas:

$$Q_r = 0.0687 \text{ Kw}$$

Por lo que, los requerimientos de calor del horno, pueden expresarse con la expresión :

$$\text{Calor Total} = \left[ \begin{array}{l} \text{Pérdidas por} \\ \text{transferencia de} \\ \text{calor.} \end{array} \right] + \left[ \begin{array}{l} \text{Calor absorbido} \\ \text{por la carga} \end{array} \right]$$

$$Q_T = q_t + (Q + Q_r)$$

$$= 4.1085 + 1.0935$$

$$= 5.2020 \text{ Kw}$$

Luego :

$$Q_T = 5.2 \times 1.2 \text{ Kw}$$

$$Q_T = 6.24 \text{ Kw}$$

Por lo que el horno se diseñará para una potencia de 6.3 Kw, a fin de satisfacer los requerimientos energéticos del horno y de la carga, considerando un factor de seguridad del 20%.

## 2.5 DISEÑO DEL SISTEMA DE EXTRACCIÓN

### 2.5.1 GENERALIDADES

El método de extracción de aire puede ser general o local. El primero consiste en dar salida al aire del edificio por circulación natural o forzada, sin que haya una relación directa con el proceso de trabajo. Por el contrario, la ventilación local estará lo más cerca posible de la tarea; a menudo abarca un trabajo específico. Ejemplos de ventilación por extracción local lo constituyen las campanas de extracción.

El sistema de extracción local se emplea para quitar un contaminante del aire captándolo cerca de la fuente en que se produce. Su ventaja sobre la extracción general es que se logra un ambiente de trabajo más limpio y en condiciones más sanas, además de que mueve un volumen de aire relativamente menor, con menor pérdida de calor para el operario.

Un sistema de extracción local consta básicamente de cuatro partes :

1. Campanas, mediante las cuales se capta el contaminante del

aire.

2. Conductos, para llevar al contaminante a un punto central.
3. Filtros, o dispositivos para limpiar el aire y purificarlo antes de expulsarlo al exterior.
4. Ventilador y su motor, para producir la corriente de aire requerida a través del sistema.

Una instalación típica de un sistema de extracción puede observarse en la figura 2.6

#### 2.5.1.1 CAMPANAS

La campana de extracción local es el punto de entrada del aire al sistema. El término "campana" se usa en un sentido amplio, comprendiendo a todas las aberturas por las que se produce succión, sin considerar sus formas o tipo de montaje.

Ningún sistema de extracción local puede considerarse efectivo a menos que el contaminante sea arrastrado a la campana. Evidentemente, el valor de la instalación será nulo si el contaminante no es captado y arrastrado dentro de la campana, no importa cuán bien contruidos estén los conductos o cuán grande sea el ventilador. La campana es, entonces, un componente importante.

### 2.5.1.2 CAPTACION DEL CONTAMINANTE

Cuando se conecta un conducto a la entrada de un extractor, se produce succión o zona de baja presión en el otro extremo del conducto. El aire del recinto se dirigirá desde todas las direcciones hacia esta zona de baja presión.

Lo que se necesita para controlar el polvo es una velocidad del aire  $V$ , en el punto en que ese polvo se forma y a una distancia  $x$  de la abertura del conducto, lo suficientemente grande como para arrastrar las partículas hacia la campana (es decir, hacia el conducto)

Si la cantidad de aire que entra en el tubo es  $Q$ , la velocidad en la superficie curva que pasa por el punto en el que el contaminante se produce, está dada por la ecuación :

$$V = Q/A \quad (\text{Ec. 2.28})$$

donde :

$A$  = área de la abertura de la campana ( $m^2$ )

$Q$  = flujo de aire en el conducto ( $m^3/\text{min}$ )

La finalidad de la mayoría de las campanas extractoras es establecer un desplazamiento de aire en el punto o lugar donde se produce el contaminante, de manera que un porcentaje suficientemente grande del mismo pueda ser arrastrado y captado. Para determinar esta velocidad de desplazamiento se utilizará la tabla III (Anexos)

## 2.5.2 PRINCIPIO DE DISEÑO DE LAS CAMPANAS

La principal característica de las campanas es su eficacia, la cual puede definirse como la capacidad para captar efectivamente el contaminante generado.

El movimiento de los contaminantes se determina por las corrientes de aire existentes en el local. Por lo tanto, el objetivo primordial al diseñar una campana será conseguir una velocidad de aire adecuada en ciertos puntos del espacio.

Las características más importantes de un buen diseño de campana extractora, son los siguientes :

1. Encerrar la operación con el fin de disminuir la velocidad de las corrientes de aire necesario para controlar el contaminante y evitar que las corrientes cruzadas lo desvíen de la zona de influencia de la campana.
2. Ubicar y diseñar la campana de manera que la velocidad inicial del contaminante lo lleve a la abertura de la misma.
3. Colocar la campana lo más cerca posible de la fuente de contaminante.
4. Diseñar la campana de modo tal que no moleste al operario.

Para un correcto diseño, una campana se realiza en las siguientes fases:

- a) Diseño Geométrico
- b) Cálculo del caudal
- c) Cálculo de la pérdida de carga en la campana

a) Diseño geométrico:

Hay que partir del principio de que una campana debe encerrar al máximo el foco contaminante, por lo que una forma de realizar el diseño es encerrar totalmente al foco contaminante, dejando los menores orificios posibles, puesto que de esta manera, el caudal a extraer será mucho menor.

De alguna forma, el diseño geométrico de una campana debe perseguir el objetivo de encerrar al máximo el proceso en su interior, y reducir en lo posible el tamaño de las aberturas por las cuales puede salir el contaminante al ambiente.

Con el fin de controlar más eficazmente los gases producidos por el proceso, la campana seleccionada debe ser completamente cerrada y con una puerta de acceso en la parte inferior para las operaciones de carga y descarga del horno, como puede observarse en la figura 2.7 .

b) Cálculo del caudal

Cuando una campana determinada aspira un cierto caudal, provoca en cada punto del espacio una velocidad de aire que será

característica en cada punto del espacio de la geometría de la campana. Es necesario conocer esta distribución de velocidades para poder calcular el caudal de aire necesario para extracción.

En la tabla III (de anexos) se indican los valores generalmente aceptados para la velocidad de captura, en función de la velocidad con que se genera el contaminante en la boca de la campana, para aquellas que encierran en su interior al proceso.

c) Pérdidas de carga

Al ejercer la succión el aire entra en el conducto, por lo que se produce una caída de presión debido a las turbulencias a la entrada del conducto.

Las pérdidas de carga se expresan por la expresión :

$$P_t = n P_d \quad (\text{Ec. 2.29})$$

$$P_d = (v/4,033)^2 \quad (\text{Ec.2.30})$$

donde :

$P_d$  = Pérdidas de carga (mm. c.d.a.)

$P_t$  = Pérdidas totales (mm. c.d.a.)

$n$  = factor de corrección por cambios graduales de sección

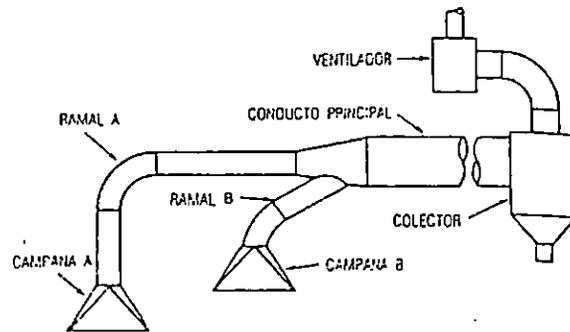


Fig.2.6 Instalación Típica de un sistema de extracción

[17]

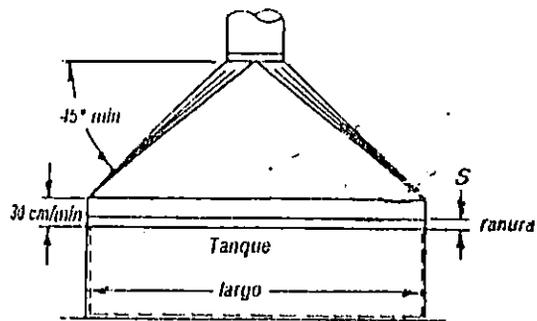


Fig. 2.7 Campana de extracción de encerramiento

[17]

Basándonos en las velocidades recomendadas en las tablas III y IV, (de anexos) obtenemos las siguientes velocidades :

$$V \text{ captación} = 0.5 \text{ m/s}$$

$$V \text{ ducto} = 10 \text{ m/s}$$

Si se tiene que :

$$\phi \text{ campana} = \phi \text{ horno} = 0.58 \text{ m}$$

el caudal en la boca de la campana será :

$$Q_c = 0.1321 \text{ m}^3/\text{s}$$

A la entrada del ducto, tendríamos que calcular el valor del diámetro del mismo, basándonos en la velocidad del ducto y el valor de caudal calculado anteriormente. Así:

$$\begin{aligned} \phi_d &= \sqrt{4 Q_c / \pi V \text{ ducto}} \\ &= \sqrt{4(0.1321) / \pi(10)} \\ &= 0.13 \text{ m} \end{aligned}$$

Debido a que para una misma velocidad del aire, los conductos de diámetro pequeño determinan una pérdida por fricción mayor que diámetros mas grandes, con lo que difícilmente puede mantenerse el caudal requerido a causa de la alta pérdida producida por fricción, se seleccionará un ducto con un mayor valor de diámetro, manteniendo constante la velocidad del ducto.

Si el diámetro del crisol tiene un diámetro igual a 0.15 m, y el orificio de la tapadera del horno tiene un diámetro de 0.22 m, se optará por dimensionar el ducto con un diámetro igual a éste último, con la finalidad de captar la columna de aire que se producirá como efecto del proceso y del calentamiento del horno, a la vez que se reducen las pérdidas de presión.

En la figura 2.8 se muestran las dimensiones de la campana de extracción.

En base a la velocidad recomendada en el ducto y al diámetro del mismo, utilizando la figura 2.9, se estimarán las pérdidas por fricción en :

$$P = 0.6 \text{ mm c.d.a}$$

por cada metro de longitud.

Las pérdidas de carga en el sistema de ductos serán por lo tanto:

$$P_s = P_{\text{campana}} + P_{\text{ducto}_1} + P_{\text{codo}} + P_{\text{ducto}_2}$$

$$P_{\text{campana}} = n P_d$$

$$n = 0.14 \quad (\text{de figura 2.10, para } \alpha = 60^\circ)$$

$$P_d = (10/4,033)^2 = 6.1481 \text{ mm c.d.a.}$$

$$P_{\text{campana}} = 0.14 (6.1481)$$

$$= 0.8607 \text{ mm c.d.a.}$$

$$P_{\text{ducto}_1} = 0.8 (6.1481)$$

$$= 4.9185 \text{ mm c.d.a.}$$

$$\begin{aligned} P_{\text{codo}} &= 1.98 (6.1481) \\ &= 12.1732 \text{ mm c.d.a.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{\text{ducto}} &= 1.7 (6.1481) \\ &= 10.4518 \text{ mm c.d.a.} \end{aligned}$$

Por lo que :

$$\begin{aligned} P_s &= 0.8607 + 4.9185 + 12.1732 + 10.4518 \\ &= 28.4042 \text{ mm c.d.a.} \end{aligned}$$

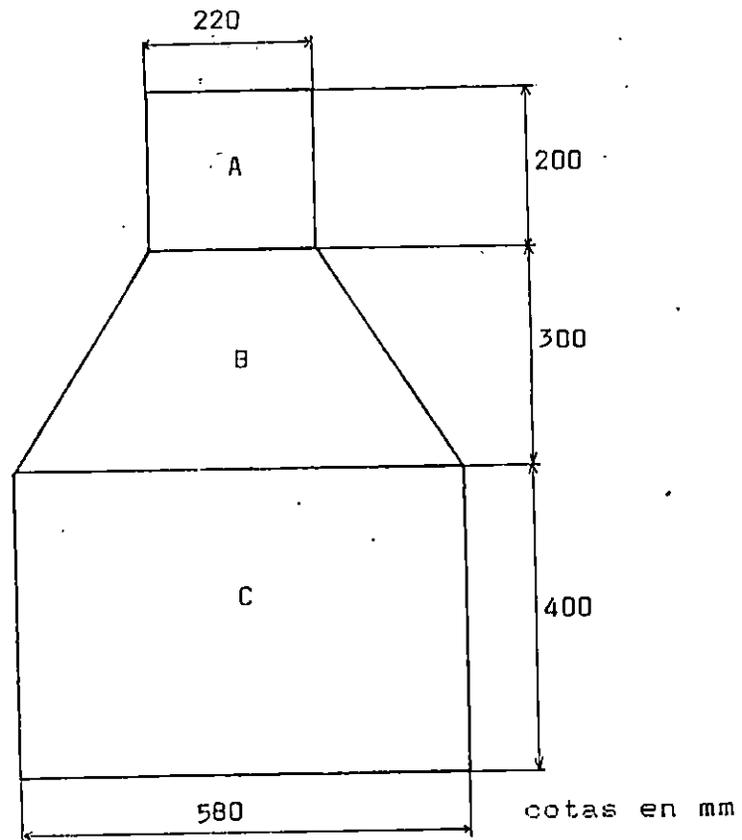


Fig 2.8 Dimensiones de la campana de extracción [mm]

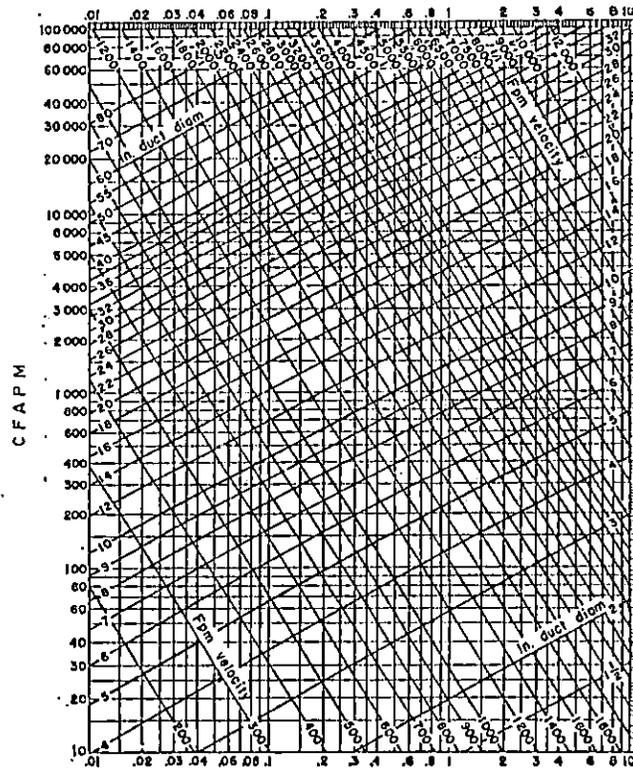


Fig. 2.9 Pérdidas por fricción en ductos [18]

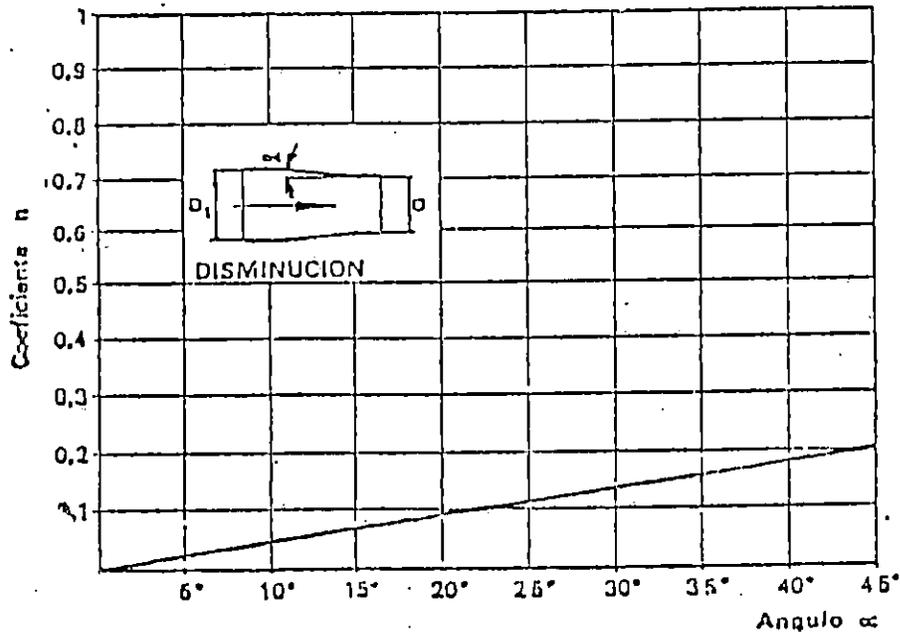


Fig. 2.10 Pérdidas de carga producida en cambios graduales de sección [18]

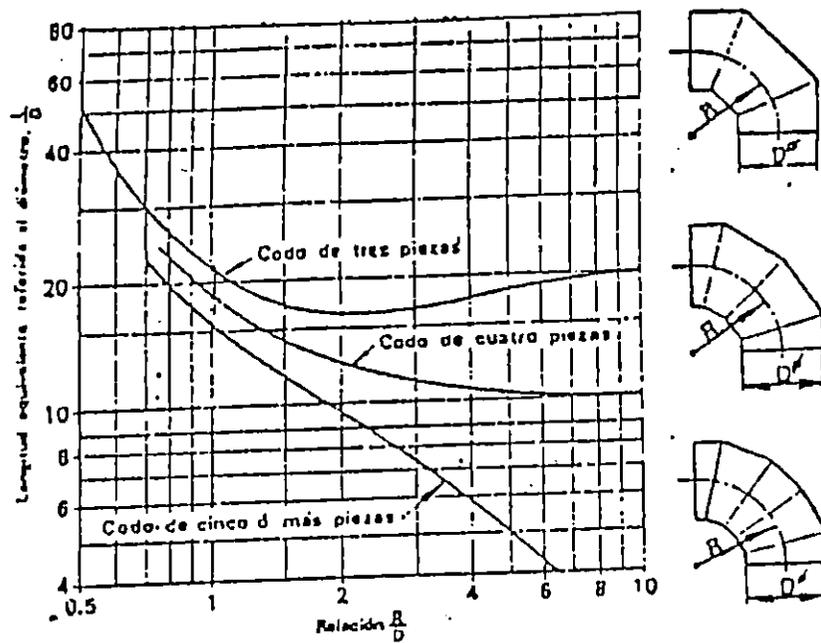


Figura 2.11 Longitud equivalente de codos de sección rectangular. [18]

### 2.5.3 CALCULO DEL CAUDAL DEL EXTRACTOR.

Un ventilador es una máquina estática que comunica energía a un gas, aumentando su presión o modificando su estado de movimiento. En un sistema de extracción, el ventilador es el elemento encargado de comunicar al aire la energía necesaria para arrastrarlo hasta el punto de captación y hacerlo circular por el conducto.

El sistema de extracción del Horno de Nitruración, cuenta con un ventilador centrífugo, en el que las conducciones de entrada y salida forman un ángulo de  $90^\circ$ .

Para la selección del ventilador, se tomará en cuenta que éste vence las pérdidas de carga del sistema de conducción, las cuales fueron estimadas en 28.4042 mmdca.

#### 2.5.3.1 COMPORTAMIENTO DINAMICO

El equilibrio se alcanza cuando el caudal de aire es tal que la pérdida de carga ocurrida en el sistema es igual a la presión estática suministrada por el ventilador.

Las pruebas y escalas son convenientes para medidas indirectas del flujo, por ejemplo, debe calcularse la velocidad para medir la presión.

La velocidad puede ser determinada por medio de un anemómetro de aletas rodantes, el cual puede registrar velocidad a la cual

puede dar una lectura sobre un intervalo de tiempo, y que es convertido en velocidad. Tales anemómetros frecuentemente requieren calibración debido a que las lecturas son afectadas grandemente por la condición de las chumaceras.

La Capacidad de Salida (CFM) puede calcularse usando la velocidad promedio ( $V$ ) obtenida en el dial del anemómetro y el área total ( $A_o$ ), en base a la expresión :

$$CFM = V \times A_o$$

En base a las mediciones efectuadas se tiene :

$$V_1 = 625 \text{ m/min} , \text{ a } 3000 \text{ rpm}$$

$$V_2 = 560 \text{ m/min} , \text{ a } 2600 \text{ rpm}$$

$$A_o = 0.038 \text{ m}^2$$

Por lo que, los valores obtenidos son :

$$Q_1 = 1426.0 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_2 = 1277.7 \text{ m}^3/\text{h}$$

Puesto que se necesitan  $1368 \text{ m}^3/\text{h}$  para proporcionar una  $V = 10 \text{ m/s}$  en el ducto, el ventilador se trabajará a 3000 rpm.

## 2.6 ANALISIS ENERGETICO

Entre las ventajas que se obtienen mediante el calentamiento por resistencia eléctrica, tal y como se mencionaron al principio, están : facilidad para generar altas temperaturas, eliminación de riesgos de combustión y su fácil aplicación y adaptación para control y regulación automática.

Las leyes que gobiernan el calentamiento de las resistencias eléctricas, despreciando el efecto de la resistencia en el circuito son, la Ley de Ohm, expresada  $V = IR$  , y la ley de Joule,  $P = VI$  , donde  $I$  es la corriente en Amperes,  $V$  el voltaje,  $R$  la resistencia en ohms y  $P$  la potencia en watts.

La razón a la que la energía eléctrica se convierte en calor está dada por  $I^2R$ .

En el calentamiento por resistencia eléctrica el elemento es capaz de alcanzar muy altas temperaturas. La temperatura más alta alcanzada es aquella que causa que la energía en forma de calor se disipe a la misma velocidad que se produce. En otras palabras, el diseño de elementos eléctricos está condicionado por el flujo térmico que puede disiparse en el material frío.

El equivalente térmico de la entrada de kilowatts en los elementos es igual al consumo de calor del horno (calor de la carga más pérdidas de calor) El consumo de calor se estimó en 6.3 Kw en el numeral 2.4

Si se conoce la tensión eléctrica de la línea, en el cálculo del elemento calefactor deben considerarse muchas variables, tales como sección, superficie, longitud, separación, tensión y la superficie de pared que cubre el elemento.

Si se estima una altura de calentamiento de 25 cm, y el diámetro interno del horno tiene un valor de 31 cm, el área en la que se distribuirá el elemento calefactor será:

$$\begin{aligned} A &= \pi D h \\ &= \pi (31) (25) \\ &= 2434.73 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

En base a los requerimientos para el horno y la carga, el horno de nitruración se diseñará para que consuma una potencia de 6.3 Kw, alimentado por una fuente monofásica con tres hilos, a 220v.

Si  $P = VI \cos \phi$  y

$\cos \phi = 1$  (por ser totalmente resistivos)

entonces

$$I = \frac{P}{V \cos \phi}$$

$$= \frac{6300}{220 (1)}$$

$$= 28.6364 \text{ A}$$

y  $P = R I^2$

$$R = \frac{P}{I^2}$$

$$= \frac{6300}{(28.6364)^2}$$

$$= 7.6825 \Omega$$

#### 2.6.1 DETERMINACION DE LA LONGITUD DEL ALAMBRE PARA LAS RESISTENCIAS ELECTRICAS.

En base a la disponibilidad de material para resistencia termoeléctrica existente en el país, y a las propiedades necesarias para la potencia energética del horno, se seleccionó alambre Kanthal con un diámetro de 1.5 mm.

En la tabla V (de anexos) se presentan algunos datos sobre algunos materiales que también pueden servir como resistencias eléctricas.

De tabla VI (de anexos), para alambre Kanthal con un valor de diámetro de 1.5 mm, tenemos los siguientes datos:

$$\phi \text{ alambre} = 1.5 \text{ mm}$$

$$\Omega / \text{m} = 0.82$$

$$\text{cm}^2 / \text{m} = 47.1$$

$$\text{cm}^2 / \Omega = 57.4$$

entonces :

$$\begin{aligned} L &= \frac{R}{\Omega / \text{m}} \\ &= \frac{7.6825}{0.82} \\ &= 12.83 \text{ m} \end{aligned}$$

además :

$$\frac{6300}{7.6825} = 820.04 \text{ w/m}$$

El wattaje por unidad de superficie es :

$$\frac{820.04}{47.1} = 17.411 \text{ w/cm}^2$$

## 2.6.2 ANALISIS DEL CIRCUITO RESISTIVO

El circuito del horno está formado por tres resistencias colocadas como se muestra en la figura 2.12.

Las resistencias son construidas tomando en cuenta un buen espaciamiento y diámetro de las espiras para una producción de calor uniformemente distribuido.

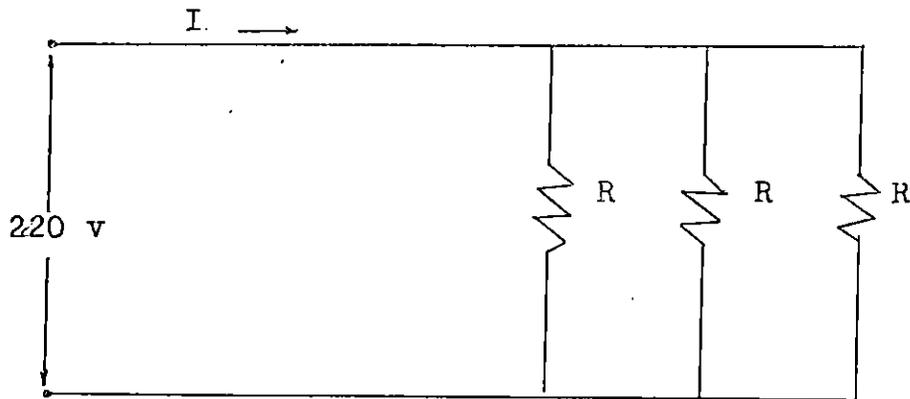


Figura 2.12 Circuito resistivo del horno

Existen ciertas reglas para el cálculo de las resistencias, las cuales son :

- a) El diámetro de las espiras debe estar comprendidas entre 6 - 8 veces el diámetro del alambre.
- b) El espacio entre una espira y la siguiente debe ser al menos una vez el diámetro del alambre, pero en lo posible, debe calcularse a 2.25 veces el diámetro del alambre, tal como se muestra en la figura 2.13.

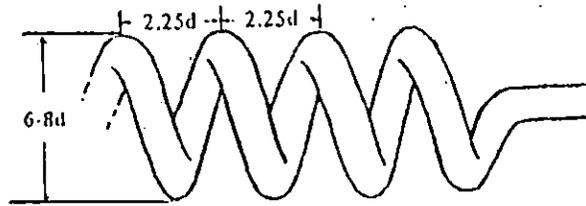


Figura 2.13 Dimensionamiento de las espiras [8]

$$D = 6 d$$

$$D = 8 d$$

$$S = 2.25 d$$

donde :

D : diámetro de las espiras (mm)

S : espacio entre espira y alambre (mm)

d : diámetro del alambre (mm)

c) La longitud total de las espiras, la cual se calculará de la manera siguiente :

i) Longitud de una bobina simple que es igual al producto del diámetro del mandril más el diámetro del alambre multiplicado por  $\pi$ .

$$l = \pi (d_1 + d)$$

donde :

l : longitud de una bobina(mm)

d<sub>1</sub> : diámetro del mandril (mm)

d : diámetro del alambre (mm)

por lo que si tomamos el criterio de 8 veces el diámetro,  
tendremos :

$$d_1 = 8d - 2d$$

$$= 6d$$

$$= 6 (1.5)$$

$$= 9 \text{ mm}$$

luego :

$$l = \pi ( 9 + 1.5 )$$

$$= 33.0 \text{ mm}$$

ii) El número de bobinas es igual al total de alambre dividido  
entre la longitud de bobina . Así :

$$N = \frac{L}{l}$$

donde

N : número de espiras

l : longitud de una bobina (mm)

L : longitud del alambre (mm)

entonces :

$$N = \frac{28107}{33.0}$$

$$= 852.0 \text{ espiras}$$

iii) Longitud total de las espiras es igual al número de espiras multiplicadas por el espacio adecuado entre bobinas, por medio de la siguiente expresión :

$$S = 0.75 N d$$

por lo que la longitud de espiras será :

$$S = 0.75 (852.0) (1.5)$$

$$= 958.48 \text{ mm}$$

como son tres resistencias :

$$St = 3( 958.48)$$

$$= 2876.0 \text{ mm}$$

Conociendo esa longitud se distribuye uniformemente en la pared, por lo que, si el diámetro del horno es 0.31m ,el perimetro tendrá un valor de 0.974 m, por lo que se colocarán 3 resistencias con una longitud efectiva de un metro cada una.

### 2.6.3 SELECCION DEL CONTACTOR

Para seleccionar los dispositivos eléctricos de control basta conocer el valor de la corriente o la potencia eléctrica que consumirá el conjunto resistivo.

Por seguridad se emplea un valor del 30% adicional, por lo que la corriente máxima será de :

$$I_{\max} = 28.636 \times 1.3 \text{ A}$$

$$I_{\max} = 37.24 \text{ A}$$

Por lo tanto se seleccionará un contactor de un rango de 0 a 40 Amperios, con una protección bimetálica por una sobrecarga inesperada.

En base a lo anterior, las especificaciones del contactor seleccionado son : (de tablas proporcionadas por el distribuidor)

TYPE PAK - 20H

IEC - 43

40 AMPERIOS

NP - 15911 - 1

## CAPITULO III: DISEÑO DEL PROCESO DE FABRICACION

### 3.1 INTRODUCCION.

Para la fabricación del horno de nitruración deben de tomarse ciertas decisiones con respecto al diseño tales como: la selección del proceso de fabricación, selección de tecnología y el análisis del flujo que se ocupará en la realización del proceso de construcción. Además debe considerarse que el diseño del proceso de fabricación no es únicamente una cuestión técnica sino que involucra selecciones sociales, económicas y ambientales.

En este capítulo se incluyen los diferentes factores que influyen en la decisión de selección del proceso de fabricación del horno de nitruración. También contiene los métodos de análisis del proceso a través del uso de los diagramas de flujo, los cuales pueden utilizarse para mejorar el flujo y la información obtenida del mismo.

Considerando el producto a fabricar, un horno de nitruración por sales, y de acuerdo a los requerimientos del mismo, se optó por seleccionar el método de operación por proyectos, para la planeación y programación de las diversas actividades que involucra la fabricación del horno. Asimismo se presenta el proceso de construcción de las diferentes partes en que se ha desglosado el horno, como también las herramientas y equipo a

utilizar en la construcción y algunas observaciones pertinentes.

### 3.2 DISEÑO DEL PROCESO DE FABRICACION.

En cualquier pieza a fabricarse y para efectos de una mayor durabilidad, debe seleccionarse el material más resistente al trabajo sin olvidar el aspecto económico y la seguridad.

Cuatro criterios fundamentales en la fabricación de cualquier producto son los siguientes:

- i) Funcionabilidad
- ii) Selección de los materiales que representen la mejor concomitancia entre las propiedades físicas, su aspecto exterior costo y factibilidad para trabajarlo, además de la factibilidad de obtención.
- iii) Selección del proceso de fabricación que proporcione la exactitud y rugosidad necesarias, así como también un costo económico lo más bajo posible.
- iv) Seguridad

El producto final o pieza diseñada debe proyectarse al tipo de servicio al cual va a estar sometido; además éste puede requerir uno o más materiales los cuales pueden procesarse en modos diferentes. Sin embargo, para algunos materiales, las posibilidades de proceso son limitadas y el proceso puede estar dictado por el

material particular escogido.

Es importante que el material y el método de fabricación de una pieza o producto sean compatibles, ya que los materiales difieren ampliamente en sus propiedades físicas, mecánicas, características de maquinabilidad, conformación plástica y su vida de servicio. Todos estos factores deben ser considerados al seleccionar el material y los procesos más adecuados a las piezas o productos a fabricarse.

### 3.3 SELECCION DEL PROCESO DE FABRICACION.

Existe una amplia posibilidad de elección en la combinación de materiales y procesos que puedan satisfacer los requerimientos planteados en el diseño de una pieza o un producto.

El proceso de fabricación consiste en uno o varios pasos separados que producen cambios de forma o propiedades o ambos.

Estas propiedades pueden ser afectadas, frecuentemente en forma indeseable, por los procesos a los que es sometido el material.

El conocimiento suficiente de las relaciones entre las propiedades y los procesos pueden permitir la mejora de las propiedades como resultado natural del proceso o minimizar la variación de las mismas.

### 3.3.1 GENERALIDADES DE UN PROCESO DE FABRICACION.

Para establecer un método o proceso de fabricación de una pieza, el análisis debe considerar lo siguiente:

1. Diseño y material de la pieza.
2. Propósito de cada operación.
3. Proceso de fabricación, herramientas y tiempo de realización.
4. Calidad y requerimientos de inspección.
5. Manipulación de material.
6. Condiciones de Trabajo.

### 3.3.2 ANALISIS DEL DISEÑO.

Al revisar el diseño para mejorarlo, puede manifestarse una necesidad de cambio. Una de ellas es el número de las diferentes partes o piezas que están involucradas en un diseño en particular. Otra indicación podría ser el número de operaciones requeridas para hacer una pieza o sub-ensamble. Si existiera un gran número de operaciones, es más fácil rediseñar la pieza que seleccionar un nuevo proceso o método de fabricación.

### 3.3.3 ANALISIS DEL MATERIAL

El análisis debe enfocarse a encontrar un material más barato que sea sustituto satisfactorio del material que se está considerando

inicialmente en el diseño. Una recomendación para un cambio de material es que éste debe basarse en el conocimiento del fin de la pieza y la disponibilidad de los procesos de fabricación.

#### 3.3.4 PROCESO DE FABRICACION.

Si una operación ha sido diseñada para cierto período de tiempo, esto puede, estar sujeto a revisión y posibles mejoras. Con el objeto de lograr una óptima utilización, debe seleccionarse el equipo y herramientas apropiadas al proceso.

#### 3.3.5 HERRAMIENTAS.

La selección de las herramientas tiene gran influencia en la economía de una operación; el uso eficiente de las herramientas debe resultar en:

1. Reducción del tiempo de ejecución
2. Máxima utilización del equipo existente
3. Reducción del esfuerzo del operario

#### 3.3.6 CALIDAD Y REQUERIMIENTOS DE INSPECCION.

El análisis debe revisar críticamente las tolerancias establecidas en el diseño.

Conociendo el propósito de la operación y la función fundamental

de la pieza, deben revisarse las tolerancias y especificaciones, ó comparar bajo norma.

### 3.3.7 MANIPULACION DE MATERIAL.

Este es un factor aparentemente intangible en el costo de fabricación y que frecuentemente se considera que no contribuye al valor de la pieza a fabricar. Sin embargo, un producto es de poco o ningún valor a menos que esté localizado a tiempo en el lugar adecuado.

Esta es la función de la manipulación o manejo del material y no puede ser evitada pero debe ser minimizada.

La construcción de una carta de flujo puede ayudar a visualizar el número de movilizaciones requeridas para el material.

### 3.4 PASOS GENERALES EN LA ETAPA DE PLANEACION.

El diseño final debe ser analizado en relación al proceso de fabricación como sigue:

1. Considerar el uso de detalles y ensambles
2. Examinar las necesidades de acabado de las superficies y maquinado de algunas áreas.
3. Analizar las limitaciones impuestas por la forma y características del material.
4. Considerar la fabricación y el ensamble de las diferentes

piezas.

5. Investigar las posibles adaptaciones de agarraderas, aberturas, etc., necesarias para el manejo, inspección o carga.
6. Analizar probables limitaciones para futuros cambios de las piezas a fabricar.

Algunas consideraciones que sirven como guía en la selección de un proceso de fabricación son las siguientes:

#### A. RAZONES PARA SELECCION DE UN PROCESO EN PARTICULAR

1. Naturaleza de la pieza o ensamble.
  - 1.a Materiales
  - 1.b Tolerancias requeridas
  - 1.c Requerimientos o necesidades finales
  - 1.d Número y clase de operaciones necesarias.
2. Historia de la fabricación y ensamble de las piezas
3. Planteamiento de limitaciones
4. Posibilidad de cambios en el diseño a fin de facilitar la fabricación o reducir costos.
5. Disponibilidad de maquinaria o herramientas
6. Disponibilidad del recurso humano para la ejecución de las labores relacionadas directamente con el proceso.
7. Problemas de manejo de material.
8. Procesos inherentes a la fabricación de formas específicas,

superficies, acabado final, recubrimientos o propiedades físicas requeridas.

#### B. FACTORES QUE AFECTAN DIRECTAMENTE AL PROCESO SELECCIONADO.

1. Proponer anticipadamente los requerimientos de fabricación.
2. Costos totales de fabricación.
  - 2.a Costos iniciales de herramientas y equipos.
  - 2.b Costos directamente de la labor.
  - 2.c Costos de materiales.
  - 2.d Costos de organización.
  - 2.e Impuestos y otros.
3. Tiempo disponible para la fabricación.
4. Problemas de transporte de las piezas terminadas y ensamble de las mismas.

#### 3.5 CARACTERISTICAS DEL FLUJO DEL PROCESO.

La primera dimensión en la clasificación de los procesos es el flujo del producto o secuencia de operaciones. Existen tres tipos de flujo: en línea, intermitente y por proyectos. En la manufactura, el flujo del producto es el mismo que el flujo del material, puesto que los materiales se transforman en productos finales.

A) FLUJO LINEAL: El flujo lineal se caracteriza por una secuencia de operaciones lineal que se utiliza para fabricar un producto.

En estas operaciones, el producto fluye en una secuencia preescrita. Las tareas individuales de trabajo se acoplan íntimamente y se deben balancear para que ninguna tarea retrase a las siguientes. Sin embargo, pueden existir flujos laterales que afecten a la línea, pero se les integra para lograr un flujo uniforme. En la figura 3.1 se muestra un patrón típico de flujo lineal.

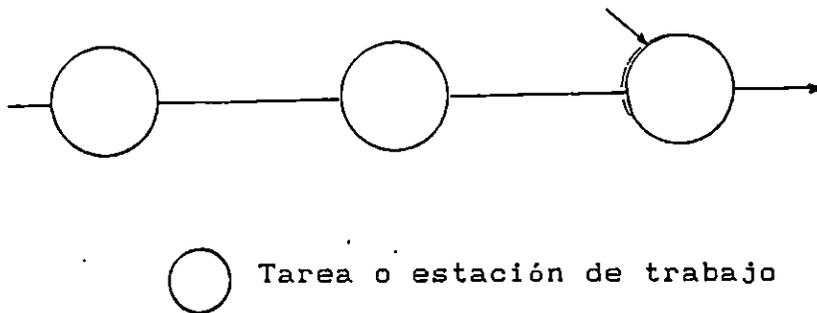


Figura 3.1 Flujo del producto

B) FLUJO INTERMITENTE: Se caracteriza por la producción de lotes a intervalos intermitentes. Un producto, fluiría entonces, solo a aquellos centros de trabajo que le sean necesarios y no utilizará los demás. Esto da como resultado un patrón de flujo irregular, como el que se muestra en la figura 3.2

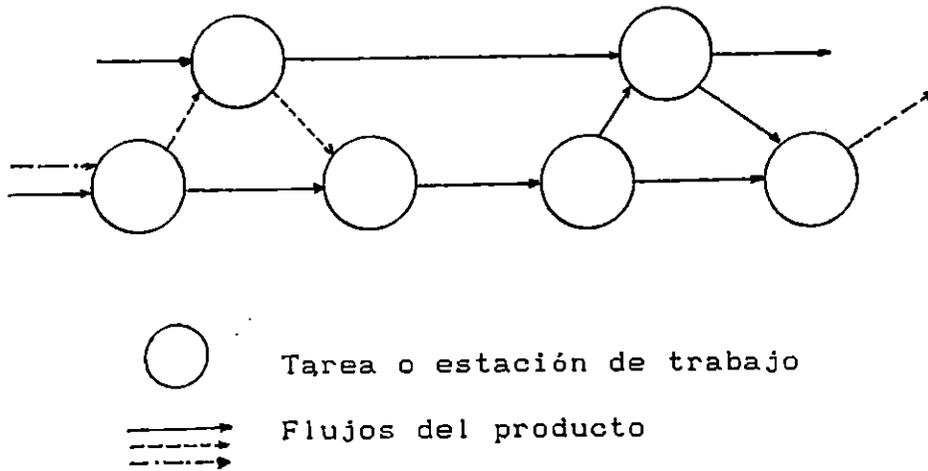


FIG. 3.2 Flujo Intermitente

C) PROYECTOS: La forma de operaciones por proyecto se utiliza para producir productos únicos.

Estrictamente hablando, no existe un flujo del producto para un proyecto, sin embargo existe una secuencia de operaciones. En este caso, todas las operaciones individuales o tareas se deben colocar en una secuencia tal que contribuya a los objetivos definitivos del proyecto.

La figura 3.3 muestra una secuencia conceptual de tareas de proyecto, que indica la procedencia necesaria entre las distintas tareas para terminar el proyecto.

Un problema significativo en la administración de proyectos es la planeación, secuencia y control de las tareas individuales que

permite la terminación del proyecto completo.

La forma de operaciones por proyecto se utiliza cuando hay gran necesidad de creatividad y conceptos únicos. Si embargo, son difíciles de planear y controlar debido a que es difícil definir un proyecto en sus etapas iniciales y éste podría estar sometido a un alto grado de cambio e innovación.

De acuerdo con las características mencionadas anteriormente para los tipos de flujo del proceso, resulta obvio el elegir la forma de operaciones por proyecto para la construcción del horno de nitruración, puesto que ofrece una mayor adaptación a las necesidades y objetivos planteados.

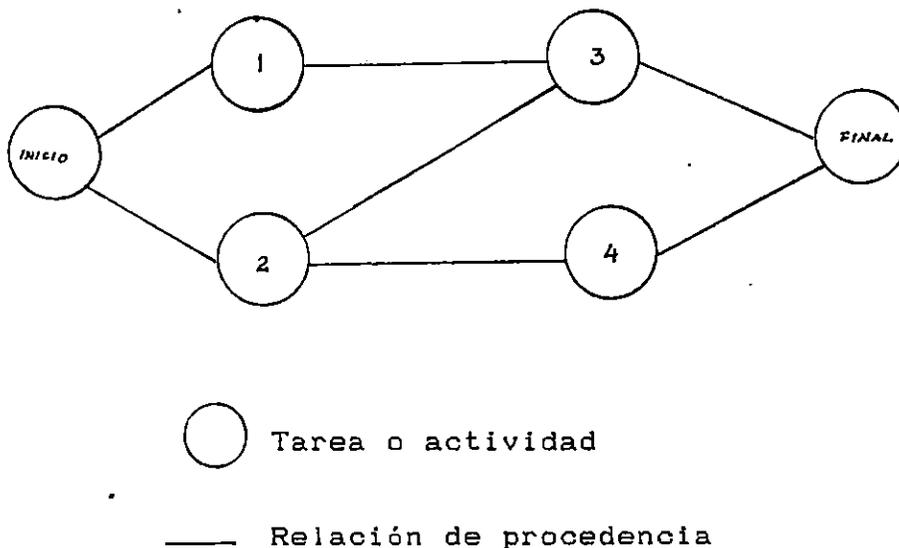


FIG. 3.3 Flujo de proyectos.

### 3.5.1 ANALISIS DEL FLUJO DEL PROCESO.

El estudio del flujo del proceso trata directamente del proceso de transformación, en el que se analizará la manera en que se fabrica un bien. Cuando se analiza la secuencia de pasos que se utiliza para convertir los insumos en productos, es normal que se encuentren mejores métodos o procedimientos.

#### 3.5.1.1 ANALISIS DE DIAGRAMA DE FLUJO

Los diagramas de flujo se utilizan para describir y mejorar el proceso de transformación en un sistema productivo. Para mejorar la efectividad o eficiencia de un proceso de producción pueden cambiarse algunos o todos los siguientes elementos del proceso:

1. Materia prima
2. Diseño del producto o pieza a fabricar
3. Pasos de procesamiento a utilizar
4. Equipo o herramientas

El análisis de procesos puede, por lo tanto, tener un amplio efecto sobre todas las partes de operaciones.

En un análisis del flujo del proceso con diagramas de flujo, se toman los siguientes pasos:

1. Decidir los objetivos del análisis

2. Seleccionar un proceso productivo para su estudio.
3. Describir el proceso de transformación existente
4. Desarrollar un diseño de procesos mejorado mediante la revisión de los flujos del proceso utilizado.
5. Implementar el nuevo diseño de proceso.

#### 3.5.1.2 ANALISIS DEL FLUJO DE MATERIALES.

El análisis del flujo de materiales es una de las primeras aplicaciones de los conceptos del análisis del flujo del proceso.

Para ello, primero se desglosa el proceso de manufactura en elementos detallados y después se estudian con cuidado cada uno de los elementos y las interrelaciones entre ellos para poder mejorar la eficiencia general del proceso.

Como parte del análisis del flujo de materiales es necesario describir el flujo con gran detalle. Esto se hace, a través de cuatro tipos de documentos principales que son:

- Dibujo de ensamble
- Gráficas de ensamble
- Hoja de ruta crítica
- Gráfica de flujo del proceso.

Los dibujos de ensamble se utilizan para especificar la manera en

que se armarán las partes de un artículo manufacturado, en nuestro caso, un horno de nitruración, tal como se muestra en la figura 3.4

Con el objeto de mostrar la secuencia exacta de operaciones que se utiliza para armar el producto se prepara una gráfica de ensamble o "Gozinto" (de la expresión inglesa " goes into" que significa "va hacia"), a partir del dibujo de ensamble. Esta gráfica muestra cada paso en el proceso de ensamble y las partes que pasan hasta el producto final, tal como se ilustra en la figura 3.5

Al tomarse en conjunto los dibujos de ensamble, gráficas de ensamble y hojas de rutas se especificarán por completo la manera en que debe fabricarse un producto. Estos documentos se derivan en su totalidad de los planos y de la lista de materiales que se especifican en el diseño original del producto.

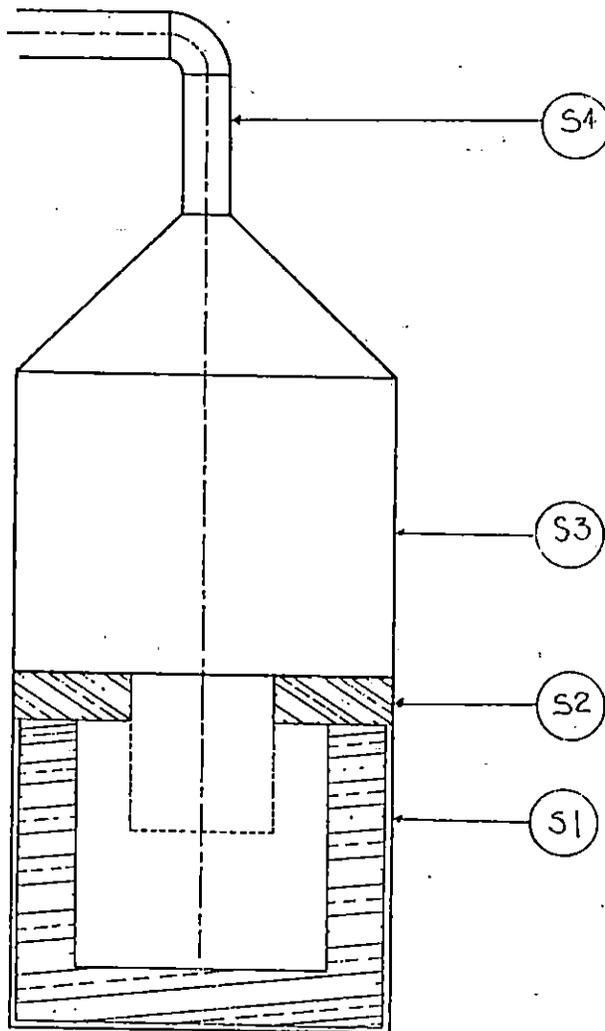


Fig. 3.4 Dibujo de ensamble del Horno de Nitruración

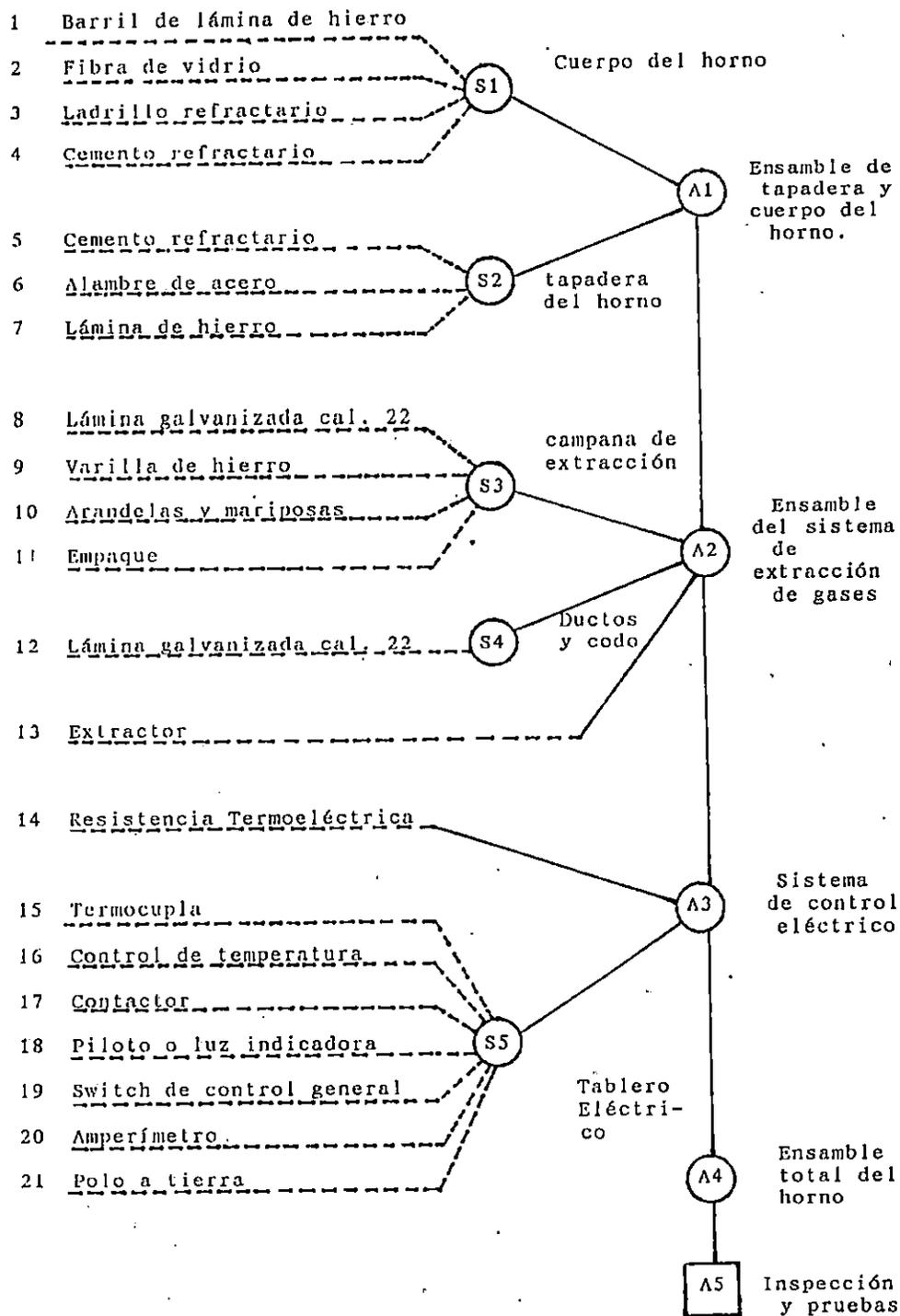


Fig 3.5 Gráfica de Ensamble del Horno de Nitruración

Para propósitos de análisis, normalmente se construyen una gráfica del flujo del proceso (ó gráfica del proceso) en la cual se desglosa el proceso en términos de los símbolos mostrados en la figura 3.6

Una hoja de rutas (u hoja de proceso de operaciones) resulta aún más detallada que una gráfica de ensamble, debido a que muestra las operaciones y la ruta que se requiere para una parte individual. Se enlista cada operación, junto con las herramientas y el equipo que se necesita. Las hojas de rutas para las diferentes partes individuales del horno, se muestran en la figura 3.7

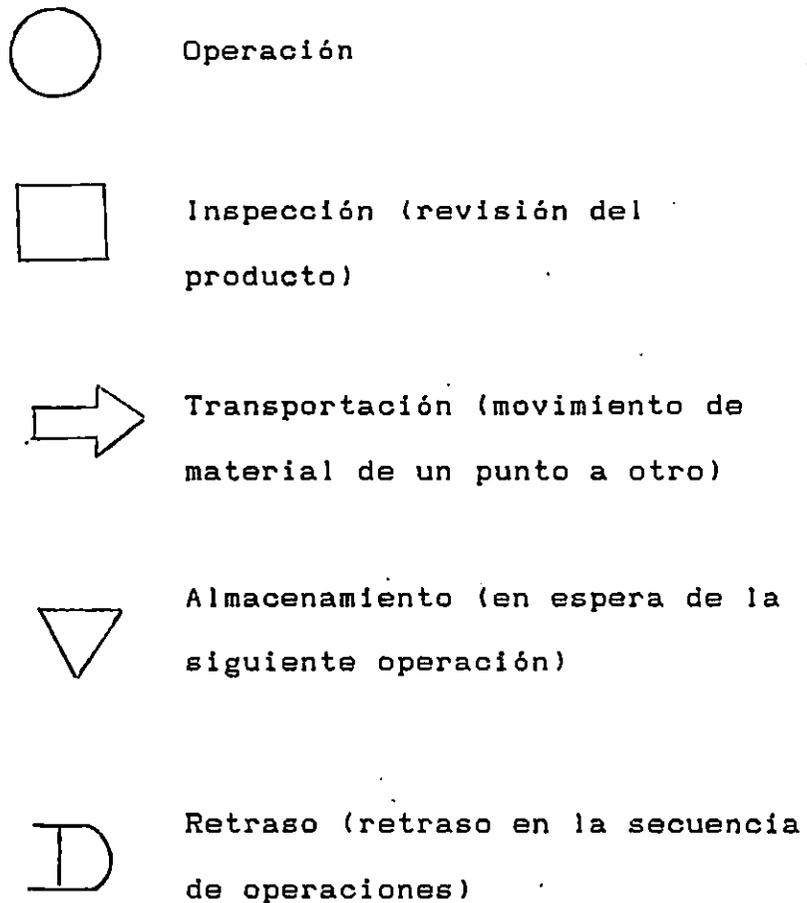


FIG. 3.6 Símbolos que se utilizan en un diagrama de flujo de proceso.

La gráfica de flujo de los procesos es una herramienta clave para mejorar el flujo de materiales. Después de examinarla, pueden combinarse algunas operaciones, eliminar otras o simplificarlas para mejorar la eficiencia general. Esto podrá, a su vez, exigir cambios en el equipo y los métodos de trabajo y quizá incluso cambios, en el diseño del producto. (ver figura 3.8)

HOJAS DE RUTAS

NOMBRE DE LA PARTE DEL ENSAMBLE cuerpo del horno

OPERACION	DESCRIPCION	HERRAMIENTA
Trazo	-medir la altura del horno y marcar	cinta métrica marcador
Corte	-efectuar el corte con el equipo de oxicorte  -limar los bordes	equipo de oxicorte tenazas  lima basta plana equipo protector
Preparación de mezcla	-mezclar el concreto refractario con agua en la proporción adecuada.	cuchara de albañil recipiente
Fabricación de paredes y fondo del horno	-colocar los ladrillos en la parte inferior del barril.  -rellenar con mezcla y formar las paredes.	cuchara de albañil nivel escuadra
Repello de paredes y fondo del horno	-cubrir las paredes laterales y el fondo del horno con cemento refractario	cuchara de albañil esponja

fig 3.7a

HOJAS DE RUTAS

NOMBRE DE LA PARTE DEL ENSAMBLE tapadera del horno

OPERACION	DESCRIPCION	HERRAMIENTA
trazo	-medir la parte superior del barril a una altura de 70mm. -marcar el centro en la parte superior y trazar una circunferencia de radio 100 mm	cinta métrica marcador tiza centropunto compás de puntas
corte	-efectuar el corte de la circunferencia con el equipo de oxicorte  -limar los bordes	equipo de oxicorte tenaza lima basta plana equipo protector
relleno	-colocar un macho en el agujero hecho en el barril y proceder a rellenarlo con mezcla de concreto refractario, hasta el nivel de la tapadera	cuchara de albañil macho de madera
afinar	-afinar la superficie de la tapadera del horno	cuchara de albañil esponja

fig. 3.7b

HOJAS DE RUTAS

NOMBRE DE LA PARTE DEL ENSAMBLE sistema de extracción. Campana y ductos.

OPERACION	DESCRIPCION	HERRAMIENTA
trazo	medir las diferentes secciones y trazarlas en la lámina.	cinta métrica marcador escuadra regla
corte	cortar las diferentes secciones que conforman el sistema de extracción	tijera para lámina tenaza guantes
unión	después de enrollar las secciones de lámina y hacer los pliegues necesarios, proceder a unir las secciones.  la forma de unión comprende: -unión engargolada -unión de pliegue saliente.	enrolladora de lámina martillo tenaza dobladora de lámina guantes

fig 3.7c

Hojas de Rutas

NOMBRE DE LA PARTE DEL ENSAMBLE tablero de control

OPERACION	DESCRIPCION	HERRAMIENTA
trazo	trazar las medidas del tablero en la lámina	marcador cinta métrica escuadra
corte	cortar la lámina en las líneas marcadas en el paso anterior.  limar los bordes	tijera para lámina lima plana basta
doblar	doblar la lámina para darle forma al tablero	dobladora de lámina tenaza guantes
ensamble	colocar todos los dispositivos en el panel de control. Para ello, perforar los agujeros necesarios en el tablero y limar los bordes	taladro tijera para lámina lima plana dispositivos descritos alambre para uniones tenaza conectores destornillador plano destornillador en cruz

fig 3.7d

Fig 3.8 a

GRAFICA DEL FLUJO DEL PROCESO

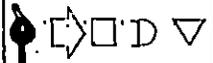
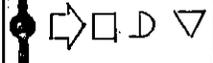
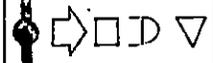
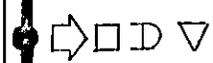
	DESCRIPCIONES	COMENTARIOS
● □ D ▽	compra del material	
○ □ D ▽	transporte de material	
● □ D ▽	trazo y corte de agujero	
● □ D ▽	preparación, relleno y secado de la mezcla	
○ □ D ▽	inspección	
○ □ D ▽	en espera de ensamble	
● □ D ▽	trazo y corte de barril	
● □ D ▽	trazo, corte y colocación de fibra de vidrio	
● □ D ▽	ejecución de la base del horno	
● □ D ▽	formación de paredes laterales	
● □ D ▽	repello pared interna	
○ □ D ▽	en espera de ensamble	
● □ D ▽	trazo y corte de lámina	
● □ D ▽	fab. ducto circular superior	
○ □ D ▽	en espera de ensamble	
● □ D ▽	fab. ducto reductor	
○ □ D ▽	en espera de ensamble	
● □ D ▽	fabricación ducto circular inferior	
● □ D ▽	ensamble de la campana de extracción	

GRAFICA DEL FLUJO DEL PROCESO

Fig 3.8b

	DESCRIPCIONES	COMENTARIOS
○ → □ D ▽	inspección	
○ → □ D ▽	en espera de ensamble	
● → □ D ▽	trazo y corte de lámina	
● → □ D ▽	unión	
○ → □ D ▽	inspección	
○ → □ D ▽	en espera de ensamble	
● → □ D ▽	colocación y fijación de la resistencia a las paredes laterales del horno	
○ → □ D ▽	inspección	
● → □ D ▽	trazo, corte y ensamble del tablero o panel de control	
● → □ D ▽	colocación de térmico, luz piloto y contactor en panel de control	
● → □ D ▽	colocación de controlador de temperatura	
● → □ D ▽	colocación de interruptor de arranque del motor del extractor en el panel de control	

Fig 3.8 c GRAFICA DEL FLUJO DEL PROCESO

	DESCRIPCIONES	COMENTARIOS
	conectar línea de térmico a piloto	
	conectar línea de térmico a interruptor	
	conectar línea de térmico a contactor	
	conectar línea de interruptor a control de temperatura	
	alimentar desde control de temperatura hasta bobina	
	conectar línea desde arranque al extractor	
	conectar resistencia al contactor	
	conectar termocupla al control de temperatura	
	inspección	
	transporte de todos los elementos	
	ensamble total del horno	
	inspección final	
	prueba del horno	

### 3.6 PLANEACION Y PROGRAMACION DEL PROYECTO.

En el tipo de operación por proyecto cada unidad se configura como un artículo único y el proceso de manufactura se realiza de manera estacionaria, es decir que los materiales y la mano de obra deben llevarse hasta donde está el proyecto.

#### 3.6.1 OBJETIVOS

En los proyectos generalmente existen tres objetivos distintos:

- a) costo
- b) programa
- c) desempeño

El costo del proyecto es la suma de los costos directos y los indirectos que se asignan al proyecto. Estos costos casi siempre cubren mano de obra, materiales y algunos servicios de apoyo. Por lo general se tiene un presupuesto para el mismo en el que se incluyen los costos asignados al proyecto.

El segundo objetivo en la administración de proyectos es el programa. Con frecuencia se establece desde el comienzo una fecha de terminación del proyecto, por lo que, así como se controlan los costos del mismo dentro de un presupuesto, también deben controlarse las actividades programadas para cumplir con las fechas establecidas.

El tercer objetivo es el desempeño, es decir las características de desempeño del producto que produce el proyecto.

Basándonos en el párrafo anterior, podemos decir que, para nuestro estudio, este objetivo se refiere a las especificaciones de desempeño del horno de nitruración, puesto que se trata de un proyecto de investigación y desarrollo de un nuevo tipo de horno para tratamiento termoquímico de aceros.

Es importante mencionar que el desempeño puede hacer necesarias algunas compensaciones entre el programa y el costo. Como casi nunca es posible predecir con exactitud el desempeño, el programa y las necesidades de costo antes de comenzar un proyecto; pueden requerirse numerosas compensaciones mientras el proyecto se realiza.

### 3.6.2 PLANEACION Y CONTROL EN PROYECTOS.

Una secuencia general para la toma de decisiones que se requieren en todos los proyectos es la planeación, la programación y el control.

La planeación se refiere a aquellas decisiones que se requieren al principio de un proyecto, por medio de las cuales se establece su carácter general y su dirección. Casi siempre, la planeación de un proyecto establece los objetivos primordiales del mismo, los recursos requeridos y las personas que administrarán e

implementarán el proyecto.

La fase de programación de la administración de proyectos especifica con mayor detalle el plan del proyecto. Esta fase comienza con la elaboración de una lista detallada de las actividades del proyecto, que se denomina estructura de desglose del trabajo. Después se establece un programa detallado de tiempos para cada actividad en la estructura de desglose del trabajo. Cuando se termina el programa de tiempos, puede desarrollarse un presupuesto con tiempos asignados, el cual se relaciona con los tiempos de inicio y terminación de cada una de las actividades del proyecto. Por último, se asignan las personas necesarias para cada una de las actividades individuales del mismo.

El control del proyecto se mantiene si se supervisa cada actividad conforme se lleva a cabo el trabajo en el proyecto. Las actividades deben monitorearse en relación con su tiempo, costo y desempeño de acuerdo con el plan del proyecto. Cualquier discrepancia significativa entre los resultados reales y el plan implica una acción correctiva. Estas acciones incluyen revisión del plan, reasignación de fondos, cambios de personal o cambios en los recursos.

En la tabla 3.1 se enlistan todas las actividades y decisiones de la Administración de Proyectos.

TABLA 3.1 ACTIVIDADES Y DECISIONES DE LA  
ADMINISTRACION DE PROYECTOS.

A. PLANEACION.

Establecer el producto terminado  
Establecer los objetivos del proyecto  
Estimar los recurso totales y el tiempo requerido  
Decidir la forma de organización del proyecto  
Definir las tareas importanates que se requieren  
Establecer un presupuesto.

B. PROGRAMACION.

Desarrollar una estructura detallada de desglose del trabajo  
Estimar el tiempo requerido para cada tarea  
Dar secuencia a las tareas en el orden apropiado  
Desarrollar un tiempo de inicio/término para cada tarea  
Desarrollar un presupuesto detallado para cada tarea  
Asignar personal a las tareas.

C. CONTROL

Supervisar el tiempo, costo y desempeño reales  
Determinar si se necesitan acciones correctivas  
Evaluar las acciones correctivas alternativas  
Tomar las acciones correctivas apropiadas.

### 3.6.3 PROGRAMACION

Se utilizan varios métodos de programación, tales como:

- a) Gráfica de Gantt o métodos de red
- b) REDES PERT (Program Evaluation Review Technique) ó Técnica de Revisión y evaluación de Programas
- c) Método de la Ruta Crítica (CPM, por sus siglas en Inglés)
- d) Método de Diagrama de Precedencia (PDM por sus siglas en Inglés)
- e) Métodos de Tiempo Constante

Al seleccionar un método de programación de proyectos debe realizarse una compensación conciente entre los métodos sofisticados y el costo. En este contexto, los métodos de la gráfica de Gantt se justifican en el caso de proyectos en donde las actividades no tienen un alto nivel de interconexiones o en el caso de proyectos pequeños. En estos casos, en que los que la gráfica de Gantt es una garantía, quizá el método de red no proporcione beneficios adicionales suficientes en relación con su costo.

Si se justifica un método de red debe realizarse una elección entre los métodos de tiempo constante, PERT, CPM, PDM ó métodos más modernos.

El método de tiempo constante resulta adecuado para los casos en que los tiempos de las actividades son constantes o casi constantes. Si los tiempos de las actividades son aleatorios debe elegirse una red PERT para reflejar directamente la falta de certeza. Por lo tanto, puede aplicarse PERT a situaciones en donde se espera variación en las actividades.

Por otro lado, los métodos CPM, deben utilizarse cuando los tiempos de las actividades son casi constantes, pero pueden reducirse con el uso de una mayor cantidad de dinero.

Los métodos de red más avanzados incluyen las redes generalizadas y situaciones limitadas por recursos. Estos métodos aún se encuentran en desarrollo y no se han utilizado ampliamente.

El método PDM ha incrementado su uso debido a su capacidad de presentar los programas de manera cómoda y de representar relaciones de precedencia complejas. En la práctica se ha encontrado que PDM es fácil de usar y explicar a la gente que no está familiarizada con las redes.

TABLA 3.2  
ETAPAS DE CONSTRUCCION DEL HORNO

NUMERO	ACTIVIDAD	TIEMPO (HORAS)
1	Inicio	0
2	Fabricación de Tapadera del Horno	6
3	Fabricación del Cuerpo del Horno	12
4	Fabricación de Campana de Extracción	15
5	Fabricación de Ductos	6
6	Fabricación de Codos	12
7	Instalación de Resistencias	6
8	Fabricación e Instalación de Tablero de Control Eléctrico	18
9	Ensamble total del horno	6
TOTAL		81

#### 3.6.4 METODO DE PROGRAMACION DE GANTT.

Los métodos de programación pueden clasificarse como gráfica de Gantt o métodos de red. Los métodos de grafica de Gantt utilizan una gráfica de barras o de objetivos. Los métodos de red utilizan una gráfica o red para mostrar las relaciones de precedencia.

En el método de programación de gráfica de Gantt se muestran las

duraciones de las actividades mediante una barra o línea. En estas gráficas se muestra también cuando se ha programado el inicio y término de la actividad

Además de las actividades, las gráficas de Gantt también pueden mostrar los objetivos (o eventos). Un objetivo es un instante en el tiempo, en tanto que una actividad es una tarea con cierta duración de tiempo con frecuencia se utilizan los objetivos para señalar el inicio o término de una o más actividades.

Las gráficas de Gantt se utilizan comúnmente en la programación de proyectos debido a que son fáciles de usar y hay mucha gente que las comprende. Sin embargo presenta el inconveniente de que resulta difícil reprogramar el proyecto cuando ocurren cambios. Estas dificultades pueden resolverse si se utiliza el método de programación con red.

En la gráfica de red se muestran las actividades como flechas mientras que los objetivos (o eventos) se muestran como círculos. Es importante notar que el diagrama de red muestra claramente las relaciones de precedencia entre las actividades.

El convencionalismo que se utiliza para dibujar estos diagramas de red es que las actividades que van hacia un círculo (evento) deben terminarse antes de que se puedan comenzar las flechas que

salen del círculo. Todas las flechas que entran a un círculo se denominan entonces predecesoras y todas las flechas que salen del círculo se denominan sucesoras. Todas las actividades predecesoras se deben terminar antes de poder comenzar ninguna de las sucesoras.

En la figura 3.9 se muestra el diagrama de red para la construcción del horno de nitruración, mismo que se ha presentado en la figura 3.10 con gráfica de Gantt.

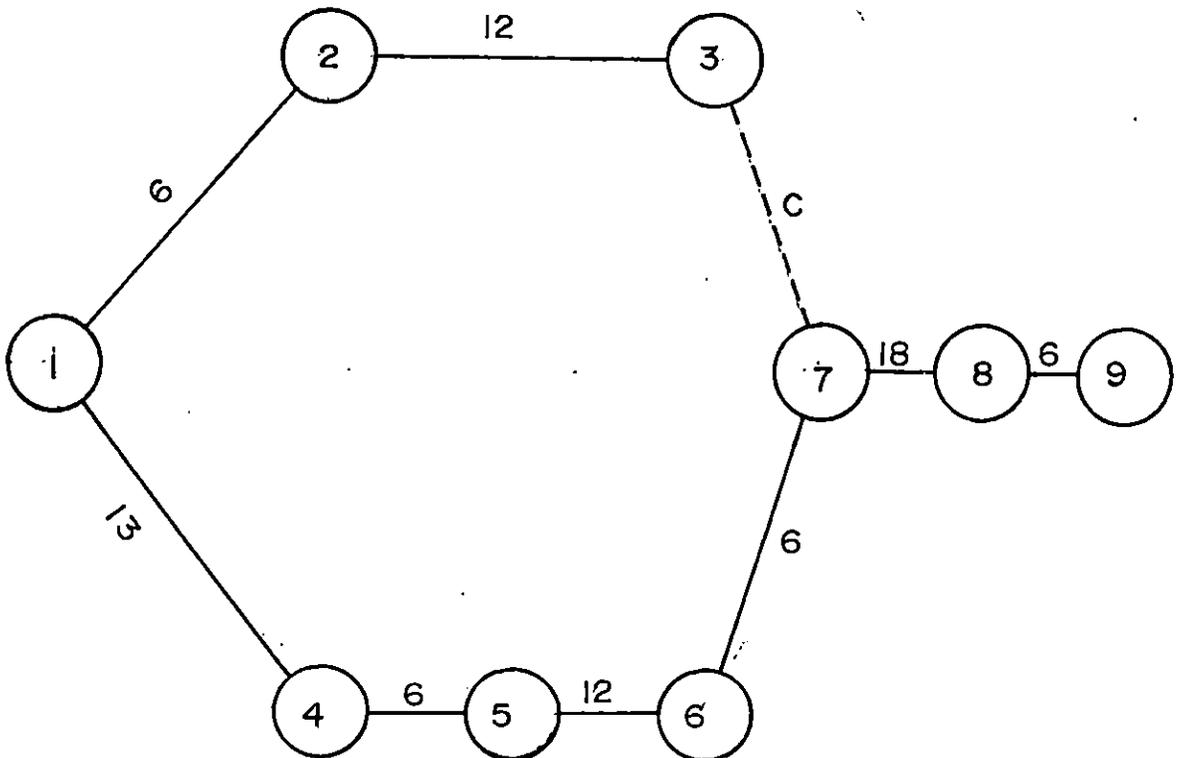


FIG. 3.9 Gráfica de proyectos con red

Eventos o actividades desarrolladas en la gráfica de proyectos con red en la figura 3.9

1. Inicio
2. Fabricación de tapadera del horno
3. Fabricación del cuerpo del horno
4. Fabricación de Campana de extracción
5. Fabricación de ductos
6. Fabricación del codo
7. Instalación de las resistencias
8. Fabricación e Instalación de Tablero de control
9. Ensamble total del horno



103

Nº	ACTIVIDAD	HORAS																													
		2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60
	U CODOS																														
15	TRAZO Y CORTE DE LAMINA.																														
16	UNION.																														
	VI RESISTENCIA																														
17	COLOCACION Y FIJACION DE RESISTENCIA EN HORNO.																														
	VII PANEL DE CONTROL																														
18	TRAZO, CORTE Y ENSAMBLE DEL PANEL DE CONTROL.																														
19	COLOCACION DEL TERMICO PILOTO Y CONTACTOR EN EL P.C.																														
20	COLOCACION Y FIJACION DE CONTROL DE TEMPERATURA.																														
21	COLOCACION DE INTERRUPTOR Y BOTON DE ARRANQUE EN EL PANEL																														
22	CONECTAR LINEA DESDE TERMICO A LUZ PILOTO.																														
23	CONECTAR LINEA DESDE TERMICO A BOTONERA.																														
24	CONECTAR LINEA DESDE TERMICO A CONTACTOR.																														
25	CONECTAR LINEA DESDE BOTONERA AL CONTROL DE TEMPERATURA																														
26	ALIMENTAR CON 2 LINEAS DESDE CONTROL DE TEMP. HASTA BOBINA																														
27	CONECTAR LINEA DESDE BOTON DE ARRANQUE DE EXTRACTOR AL MOTOR																														
28	CONECTAR RESISTENCIA AL CONTACTOR																														
29	CONECTAR TERMOCUPLA AL CONTROL DE TEMPERATURA.																														
30	ENSAMBLE TOTAL AL HORNO																														

\* CADA DIVISION REPRESENTA 2 HORAS.

### 3.7 ESTIMACION DE COSTOS

Una estimación de costos trata de predecir el gasto en que se debe incurrir al manufacturar una pieza o producto. Los factores a ser considerados pueden diferir de un producto a otro, pero las técnicas están basadas en los mismos principios, ya sean aplicadas a relojes, edificios, máquinas y herramientas o cualquier cosa que sea manufacturada o fabricada.

La estimación del costo de fabricación de un producto puede considerarse como un juicio después de cuidadosas consideraciones de todos los factores y los cálculos pertinentes para determinar la cantidad de tareas, material y servicios requeridos para producir la pieza o producto. Esto implica que la persona que hace la estimación no conoce la cantidad exacta de tareas y materiales, ya sea directos o indirectos, requeridos para la fabricación del producto. Sin embargo, se aplican razonamientos lógicos para establecer costos realísticos.

#### 3.7.1 PROPOSITOS DE LA ESTIMACION DE COSTOS

La fase de estimación de un proceso de planeación deberá de considerarse como un paso fundamental en la determinación de un producto. Esta actividad reporta recomendaciones útiles para la determinación de las futuras medidas de acción. En suma, los

costos son utilizados como guía para los gastos subsecuentes, tales como el costo de equipo, herramientas y servicios necesarios para producir una pieza o producto.

El propio acto de estimación no valúa el trabajo, esto no cambia por sí mismo los costos finales, excepto si se deja algún precio en blanco y se establecen precios tentativos. Sin embargo, la estimación es una herramienta valiosa para evaluar y comparar manufacturas alternativas, nuevos diseños, reducción y control de costos.

Una estimación de costos cuidadosamente elaborada proporciona un alto grado de probabilidad de que las actividades planeadas, si se emprenden, se desarrollan como está calculado. Bajo este concepto, la estimación de costos puede usarse para:

1. Establecer un precio de ventas del producto.
2. Determinar el método, proceso o material más económico para manufacturar un producto.
3. Encontrar, ya sea piezas o ensambles que puedan ser más baratos, fabricados o comprados.

### 3.7.2 COSTO DE MATERIAL

El material se divide en dos categorías básicas:

- 1) Piezas compradas

2) Material para fabricación de la pieza o ensamble.

El costo de ambos se obtiene mediante un grupo de compra. Una lista formal se prepara por el cotizador, partiendo de la cantidad y tamaño de las piezas, así como de su número, peso, configuración y especificación del material para la fabricación de las piezas.

El material para fabricación de piezas pueden ser láminas de metal, barras, fundiciones, plásticos, etc..

Además, sobre recibos de precios de material para compra, el cotizador debe adicionar un porcentaje para cubrir manejo y costos de administración, esto es usualmente alrededor de un trece por ciento.

En la tabla 3.3 se presenta la estimación de costos, realizada para el horno de nitruración.

**TABLA 3.3**  
**ESTIMACION DE COSTOS**

CANT.	DESCRIPCION	COSTO/UNIDAD	COSTO TOTAL
	<b>A.CUERPO DEL HORNO</b>		
43	ladrillos refractarios	¢ 27.50	¢ 1182.50
200	libras concreto refractario	¢ 4.95	¢ 990.00
1	barril de lámina	¢ 55.00	¢ 55.00
1	libra de electrodo MTE6013	¢ 5.30	¢ 5.30
1	pliego de fibra de vidrio	¢ 275.00	¢ 275.00
1	esponja	¢ 9.00	¢ 9.00
	<b>B.SISTEMA DE EXTRACCION</b>		
2	pliegos de lámina galvanizada calibre 22	¢ 264.50	¢ 528.00
1	motor con ventilador	¢ 1850.00	¢ 1850.00
2.25	litros de ácido muriático	¢ 6.40	¢ 14.40
0.5	galón de pintura anticorrosiva	¢ 110.00	¢ 55.00
0.5	galón de pintura de esmalte	¢ 126.00	¢ 63.00
	<b>C.TABLERO DE CONTROL</b>		
1	Amperímetro	¢ 429.00	¢ 429.00
1	piloto (220v)	¢ 72.00	¢ 72.00

TABLA 3.3 (cont.)

CANT.	DESCRIPCION	COSTO/UNIDAD	COSTO TOTAL
2	interrruptores	¢ 150.00	¢ 300.00
1	contactor con bimetálico (0 - 40A) 2 polos	¢ 1250.00	¢ 1250.00
1	térmico principal de dos polos	¢ 487.00	¢ 487.00
1	caja de seguridad	¢ 42.00	¢ 42.00
3	borneras	¢ 36.00	¢ 108.00
1	conector para termocupla	¢ 12.00	¢ 12.00
3	metros alambre eléctrico calibre 10 AWG vulcanizado	¢ 22.00	¢ 66.00
3	metros alambre eléctrico calibre 14 AWG vulcanizado	¢ 8.50	¢ 25.50
4	metros alambre eléctrico calibre 16	¢ 2.10	¢ 8.40
16	conectores	¢ 1.50	¢ 24.00
50	cerámicos aislantes	¢ 3.25	¢ 105.00
1	control de temperatura	¢ 2090.50	¢ 2090.50
1	termocupla tipo K	¢ 282.50	¢ 282.50
	D. VARIOS		
6	tornillos 3/16"	¢ 1.75	¢ 10.50
4	tornillos 1/8"	¢ 0.75	¢ 3.00
6	anclas	¢ 0.85	¢ 5.10
1/8	galón pintura de aceite	¢	¢ 17.00
	Costo + 13% de imprevistos		¢11649.40

C A P I T U L O   I V   :

M A N U A L

D E

C O N S T R U C C I O N

#### CAPITULO IV : CONSTRUCCION DEL HORNO DE NITRURACION

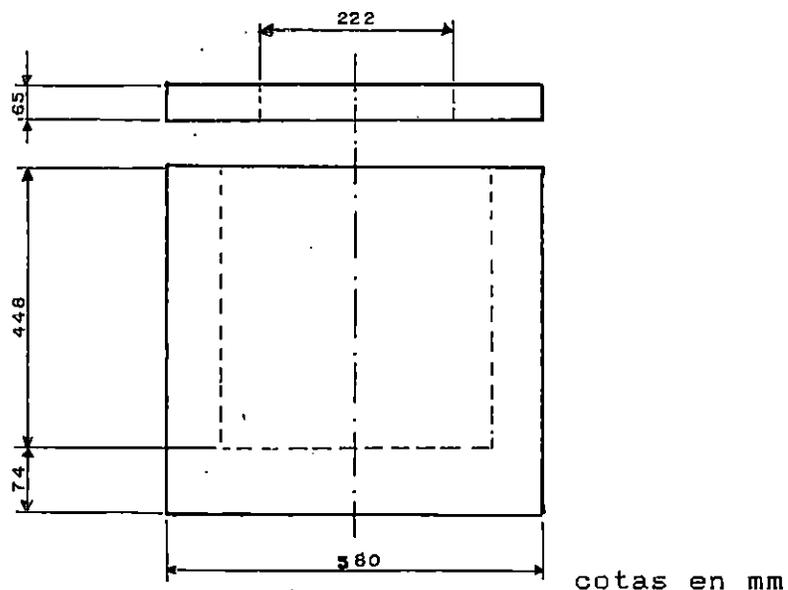
Después de efectuar el diseño del horno de nitruración, seleccionar los diferentes elementos y dispositivos necesarios para su correcto funcionamiento, y diseñar el proceso de fabricación del mismo, se procederá a llevar a cabo la construcción del Horno de Nitruración por sales.

Para ello, es importante, la elaboración de un manual de construcción, el cual facilitará y optimizará dicho proceso.

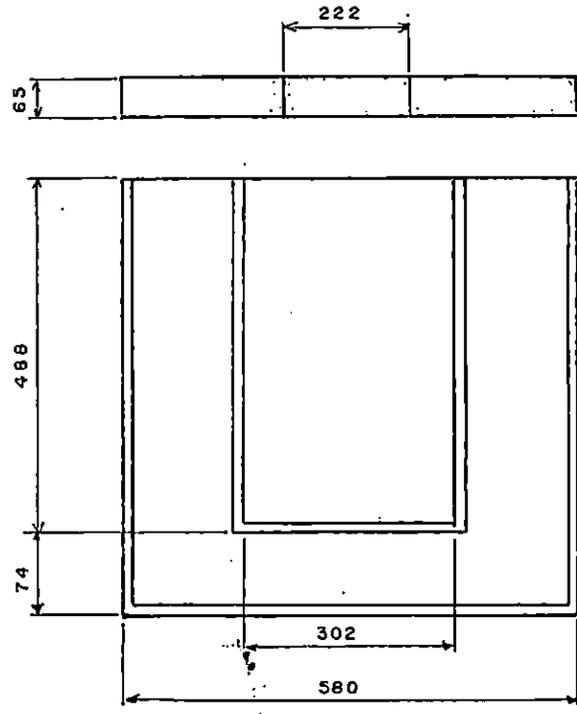
De igual manera, ayudará a tener una mejor idea del conjunto y de posibles variantes según la conveniencia de quien fabrique el horno.

El proceso de construcción del horno se dividió en nueve etapas, según se mencionó en el numeral 3.6.3 , y cada una de ellas se dividió a su vez en otras sub etapas, con la finalidad de facilitar el proceso.

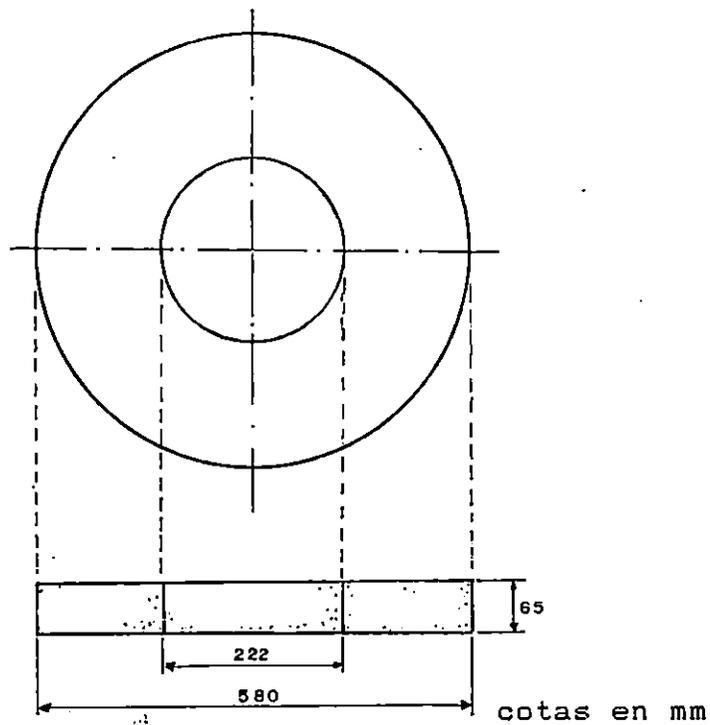
En el manual de construcción se incluye paso a paso el proceso de construcción del horno de nitruración en cada una de sus etapas, presentando además el proceso de trazo, corte y modo de unión de los constituyentes del sistema de extracción; así como también la fabricación del panel de control eléctrico y la fabricación del crisol.



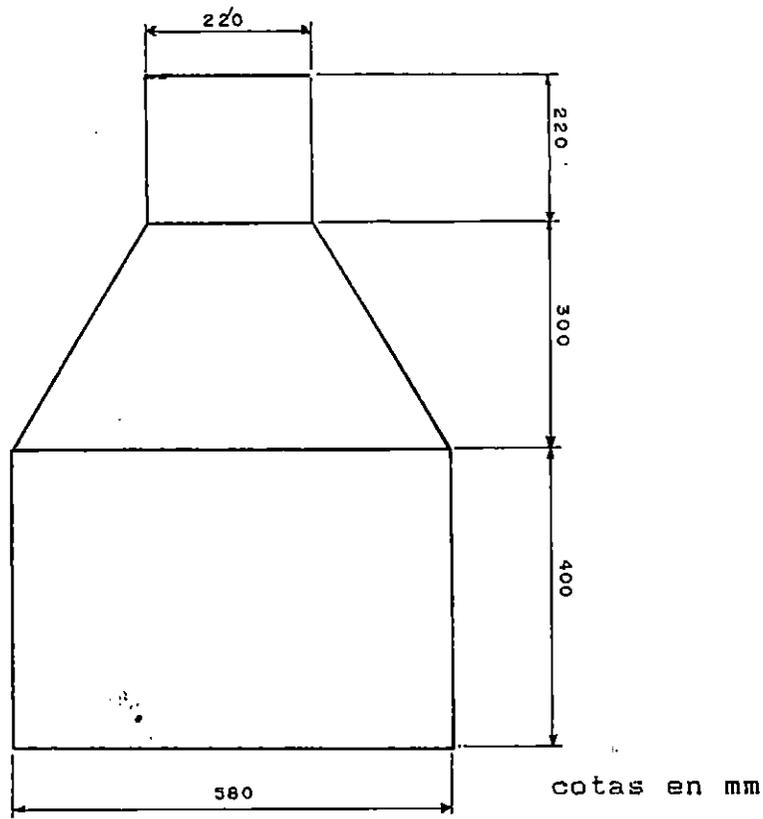
No.	ACTIVIDADES	MATERIAL Y HERRAMIENTAS
1	Adquirir un barril de lámina.	- 1 Barril de lámina de 55 galones de capacidad
2	Medir desde la parte inferior una altura de 562 mm y desde la superior una altura de 65 mm. (sobrará parte del barril)	- cinta métrica - equipo de oxicorte - centro punto - martillo
3	Con el equipo de oxicorte cortar en ambas marcas.	- tiza
4	Marcar el centro en la parte superior y marcar un R = 111 mm y cortar con oxicorte.	



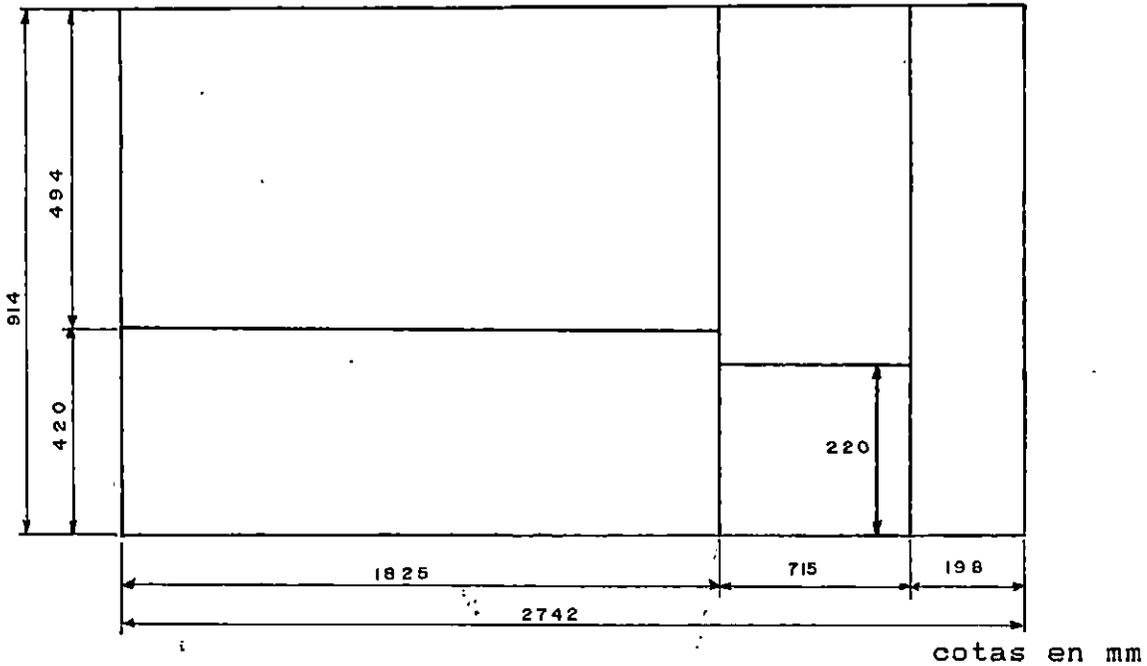
No.	ACTIVIDADES	MATERIAL Y HERRAMIENTAS
1	Forrar el interior del barril cortado con fibra de vidrio.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Concreto refractario</li> <li>- Ladrillos refractarios</li> </ul>
2	Mezclar el concreto refractario con agua según recomendaciones del fabricante.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fibra de vidrio</li> <li>- Cartón</li> <li>- Agua</li> </ul>
3	Pegar los ladrillos en la base inferior y posteriormente alrededor, formando la pared hacia arriba.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cuchilla</li> <li>- Guantes de cuero</li> <li>- Cuchara de albañil</li> </ul>
4	Efectuar repello con cemento refractario.	



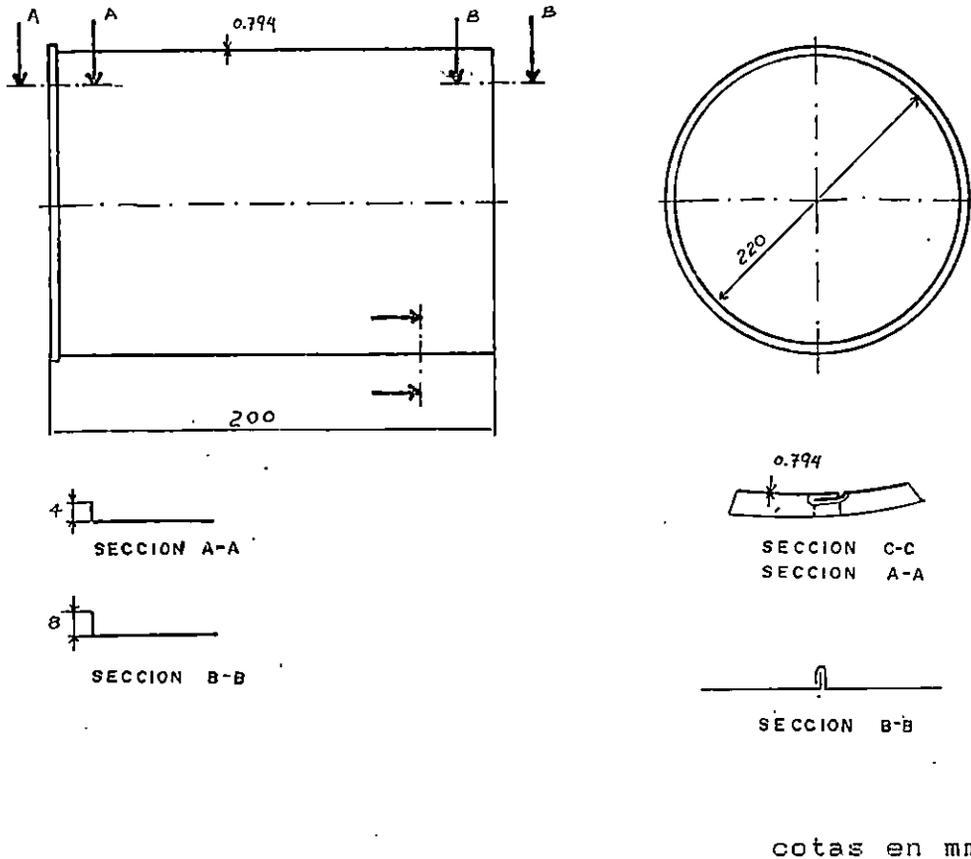
No.	ACTIVIDADES	MATERIAL Y HERRAMIENTAS
5	Colocar la tapadera con el borde cortado hacia arriba.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Concreto refractario</li> <li>- Ladrillos refractarios</li> <li>- Fibra de vidrio</li> <li>- Cartón</li> <li>- Agua</li> <li>- Cuchilla</li> <li>- Guantes de cuero</li> <li>- Cuchara de albañil</li> </ul>
6	Colocar un macho de cartón en el centro de la tapadera de lámina.	
7	Rellenar con concreto refractario hasta el nivel de la tapadera.	
8	Dejar secar a temperatura ambiente al horno y la tapadera.	



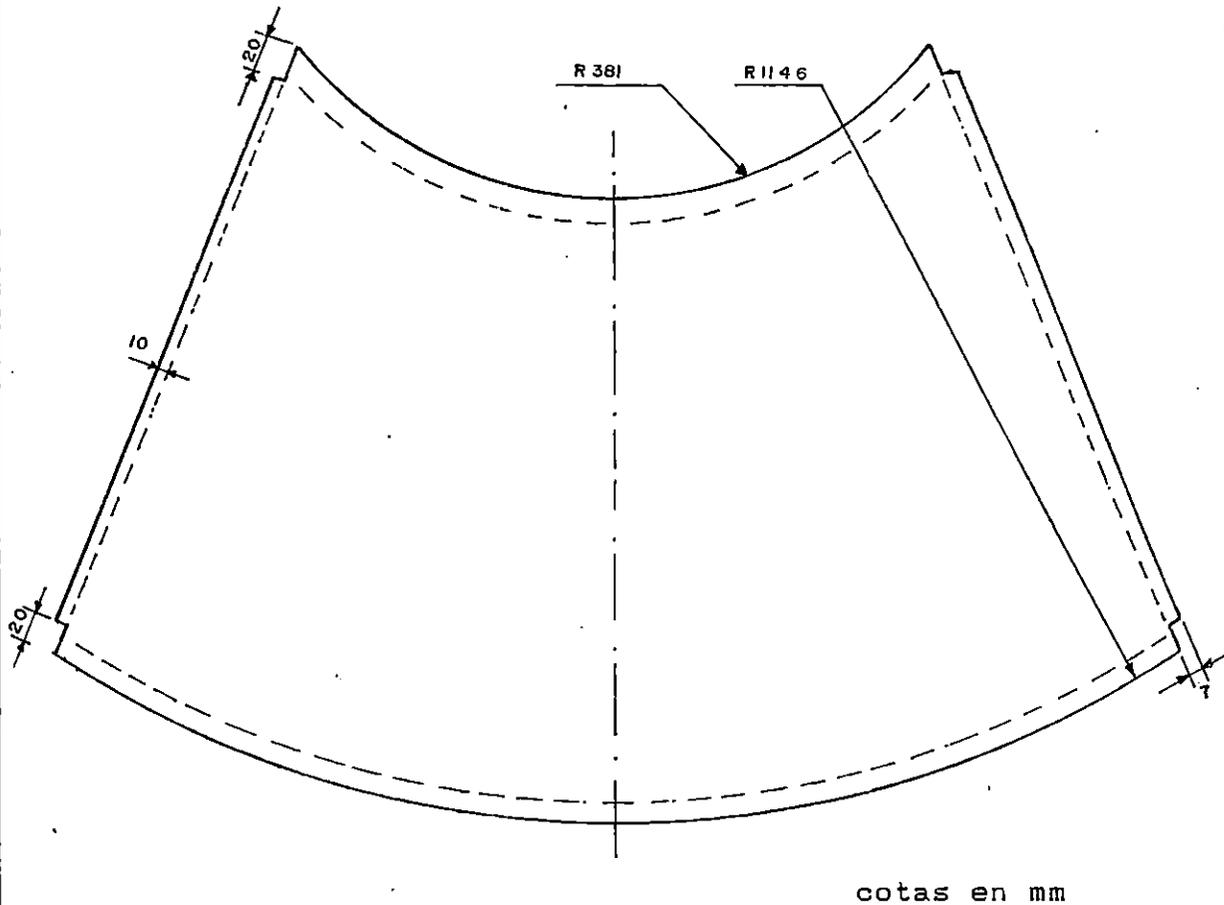
No.	ACTIVIDADES	MATERIAL Y HERRAMIENTAS
1	Marcar la lámina según se indica.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lámina Galvanizada calibre No 22.</li> <li>- Tijeras para cortar lámina.</li> <li>- Marcador</li> <li>- Martillo</li> <li>- Tenaza</li> <li>- Dobladora de lámina</li> <li>- Guantes de cuero</li> <li>- cinta métrica</li> </ul>
2	Cortar la lámina según las marcas hechas.	
3	Unir las piezas de lámina por medio de uniones engargoladas.	
4	Ensamblar todas las secciones del sistema de extracción, mediante unión engargolada.	



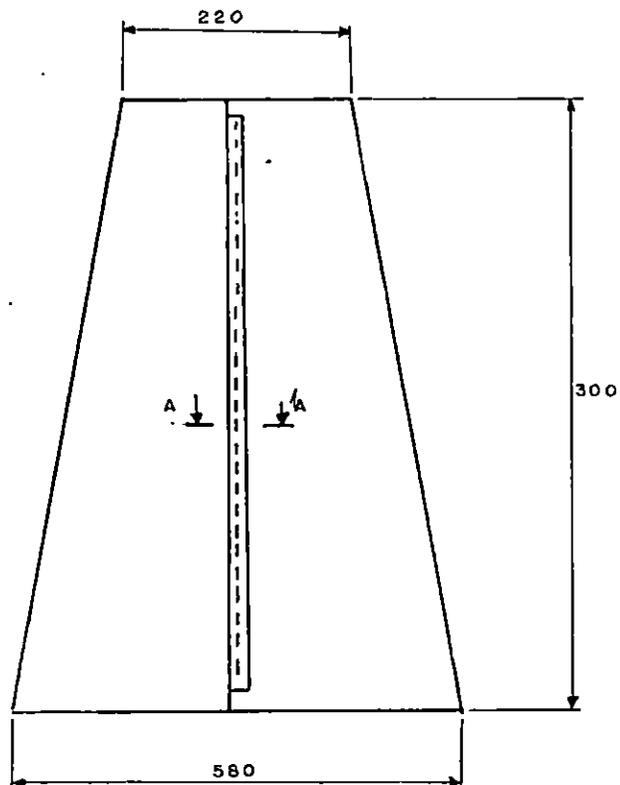
No	ACTIVIDADES
1	La forma de cortar la lámina galvanizada se muestra en la figura.
2	La sección A sirve para formar el ducto circular inferior de la campana de extracción, los detalles adicionales de corte se muestran en la pag. 7
3	La sección B se utilizará para la construcción del ducto circular superior de la campana de extracción
4	La sección C se utilizará para la construcción del ducto reductor de la campana de extracción.
5	La sección D se utilizará para la construcción del ducto de transporte.
6	La sección E se utilizará para fabricar cinchos de sujeción de ductos.



No	ACTIVIDADES
1	Sección A - A Unión por brida para unir el cuerpo de la campana al ducto de la campana de extracción.
2	Sección B - B Unión de pliegue saliente para unir el ducto circular al ducto reductor de la campana de extracción.
3	Sección C - C Unión engargolada, para unir la hoja de lámina galvanizada después de ser enrollada.



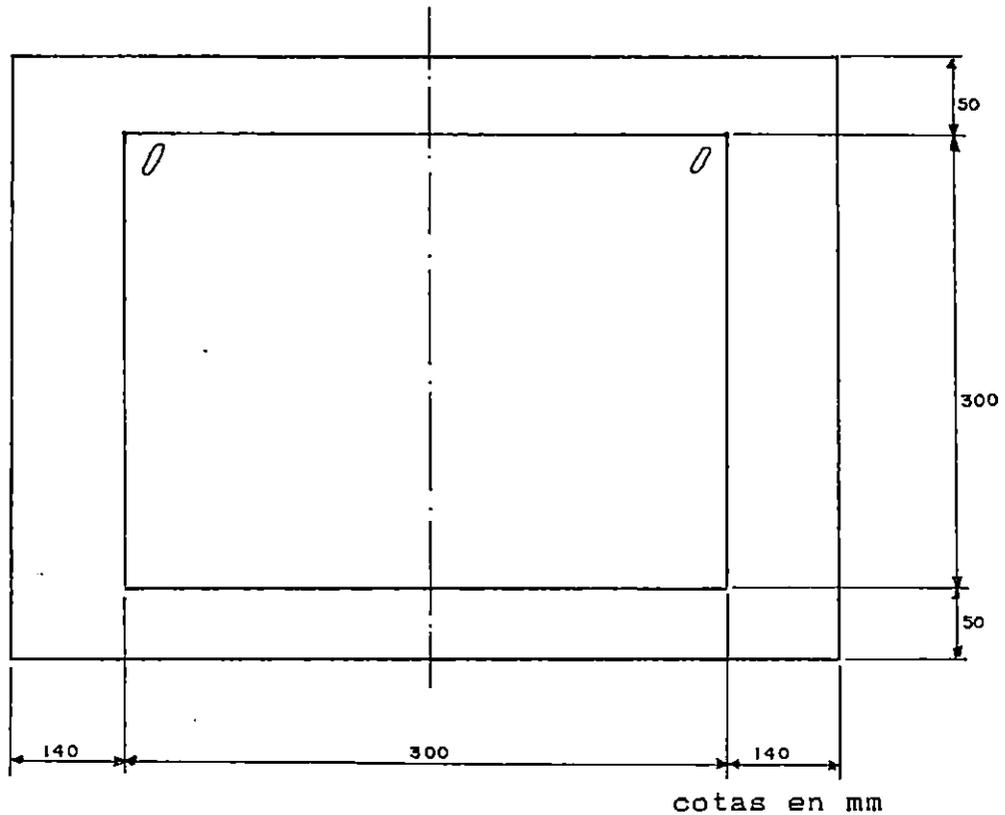
No	ACTIVIDADES
1	Se presenta la forma de cortar la lámina galvanizada que se utilizará en la fabricación del ducto reductor.
2	La zona punteada denota la línea de doblez para hacer los respectivos empalmes en la unión de los ductos circulares inferior y superior con el ducto reductor de la campana de extracción.



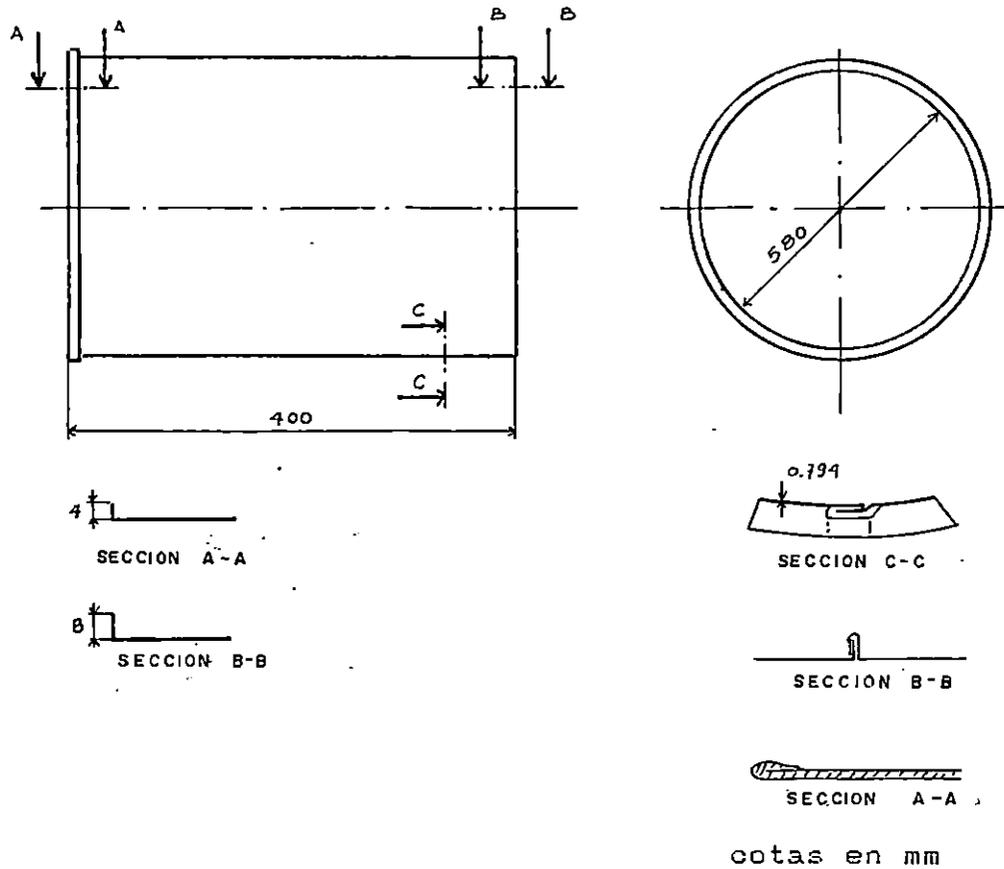
cotas en mm

SECCION A-A

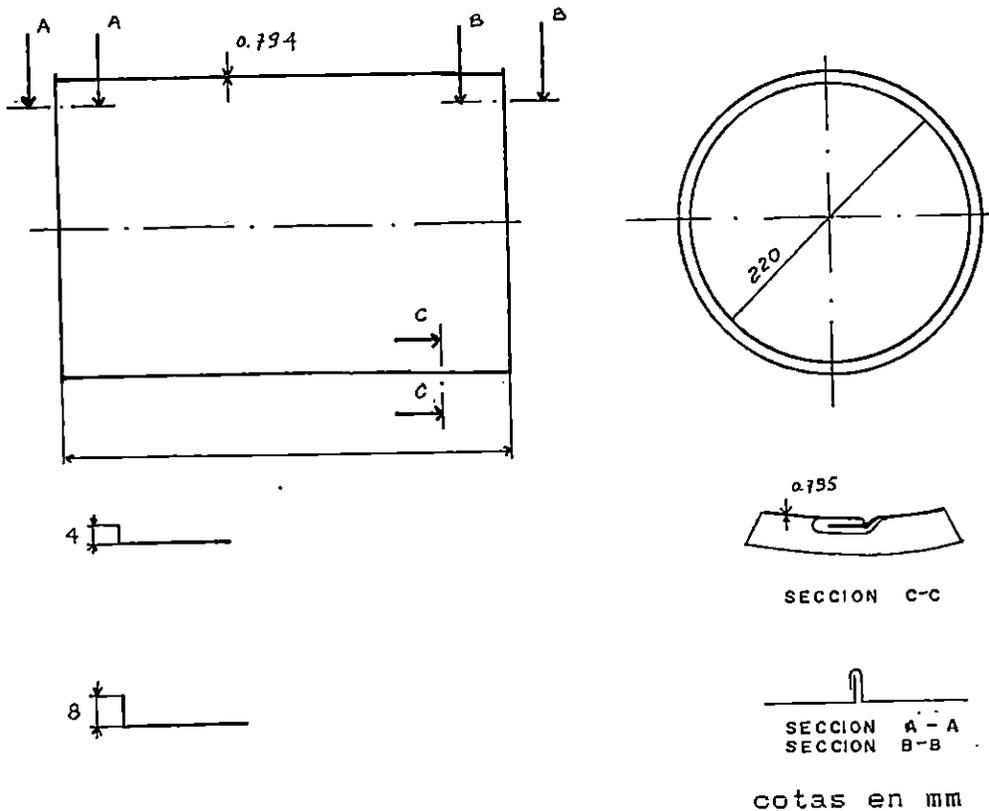
No	ACTIVIDADES
1	<p>Vista frontal del ducto reductor de la campana de extracción.</p> <p>Sección A - A Forma de unión engargolada para asegurar la lámina después de ser enrollada.</p>



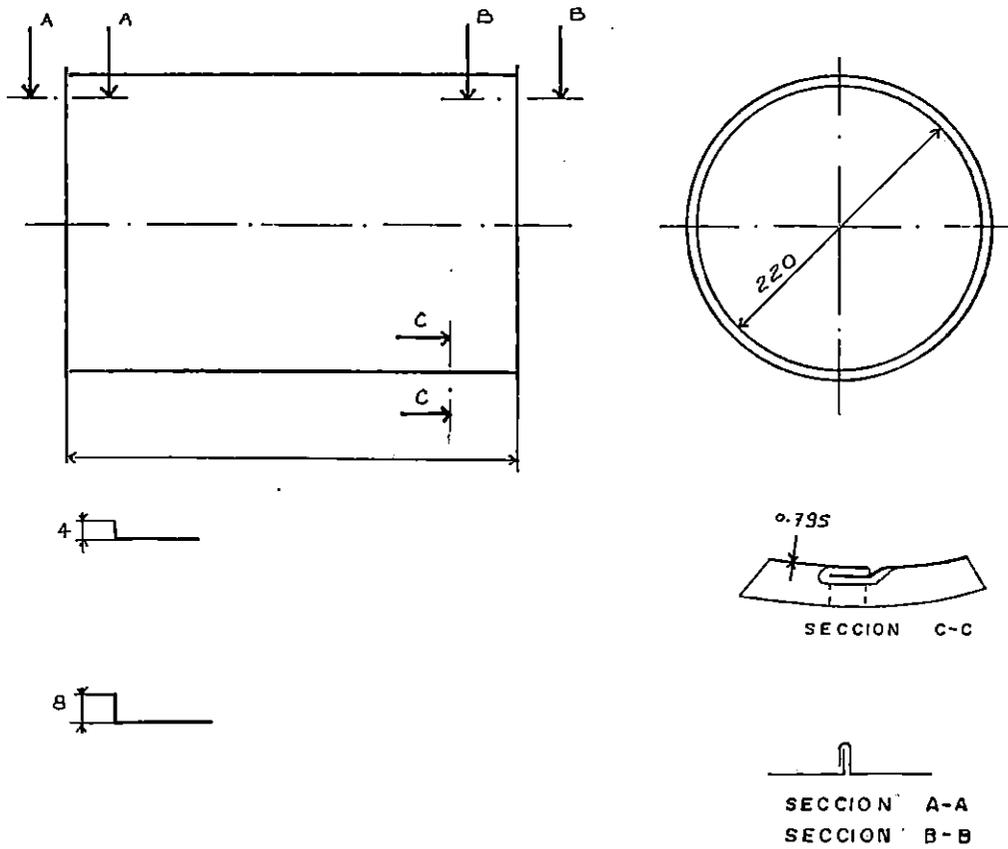
No	ACTIVIDADES
1	<p>Sección del ducto inferior de la campana de extracción, donde se muestra la puerta de acceso hacia la cámara donde se coloca el crisol.</p> <p>La puerta se abre o cierra por medio de dos manivelas, colocadas una a cada lado de la parte superior de la puerta.</p>
2	<p>La puerta está hecha de lámina galvanizada calibre 22.</p> <p>En la unión de la puerta con el ducto se coloca empaque para lograr un sello hermético.</p>



No	ACTIVIDADES
1.	Sección A - A Unión doblada para el fondo de la campana de extracción.
2	Sección B - B Unión de pliegue saliente para unir el ducto.
3	Sección C - C Unión engargolada, para unir la hoja de lámina galvanizada después de ser enrollada.

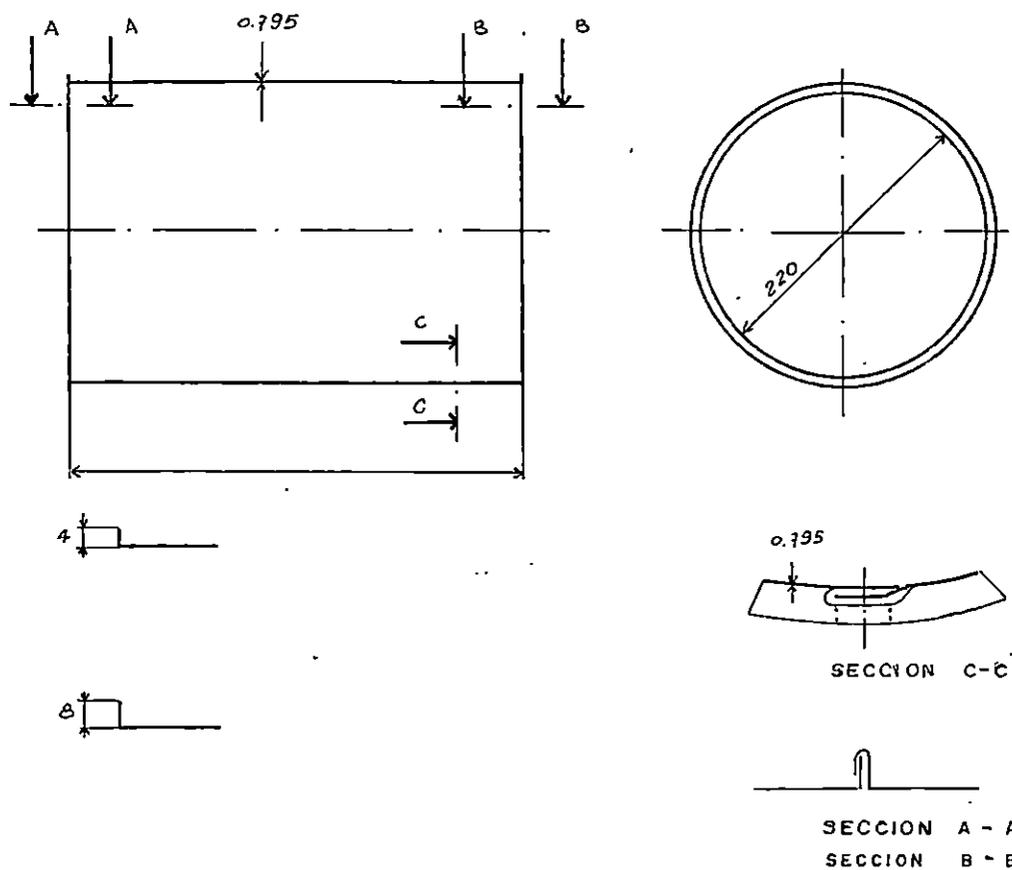


No	ACTIVIDADES
1	Sección A - A Unión de pliegue saliente para unir el ducto circular de transporte con la sección continua de ducto circular.
2	Sección B - B Unión de pliegue saliente para unir el ducto circular de transporte con la sección continua de ducto circular.
3	Sección C - C Unión engargolada para unir la lámina después de ser enrollada.



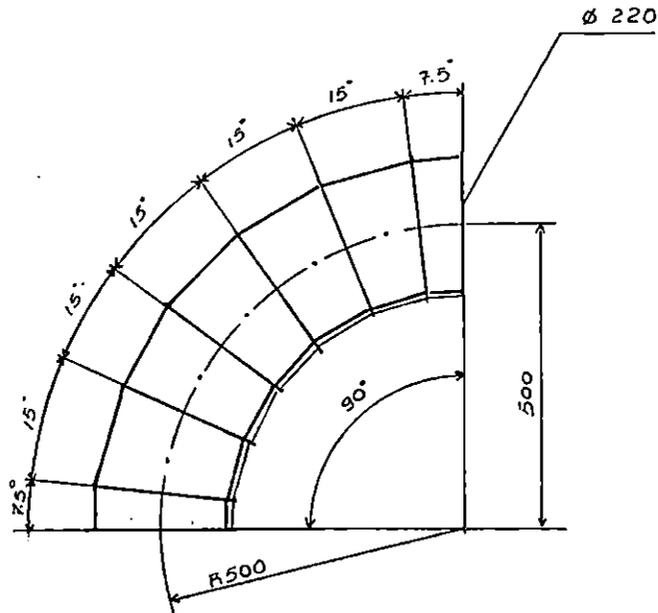
cotas en mm

No	ACTIVIDADES
1	Sección A - A y B - B Unión de pliegue saliente para unir el ducto circular superior de la campana de extracción con la entrada al extractor.
2	Sección C - C Unión engargolada para unir la hoja de lámina galvanizada después de ser enrollada.



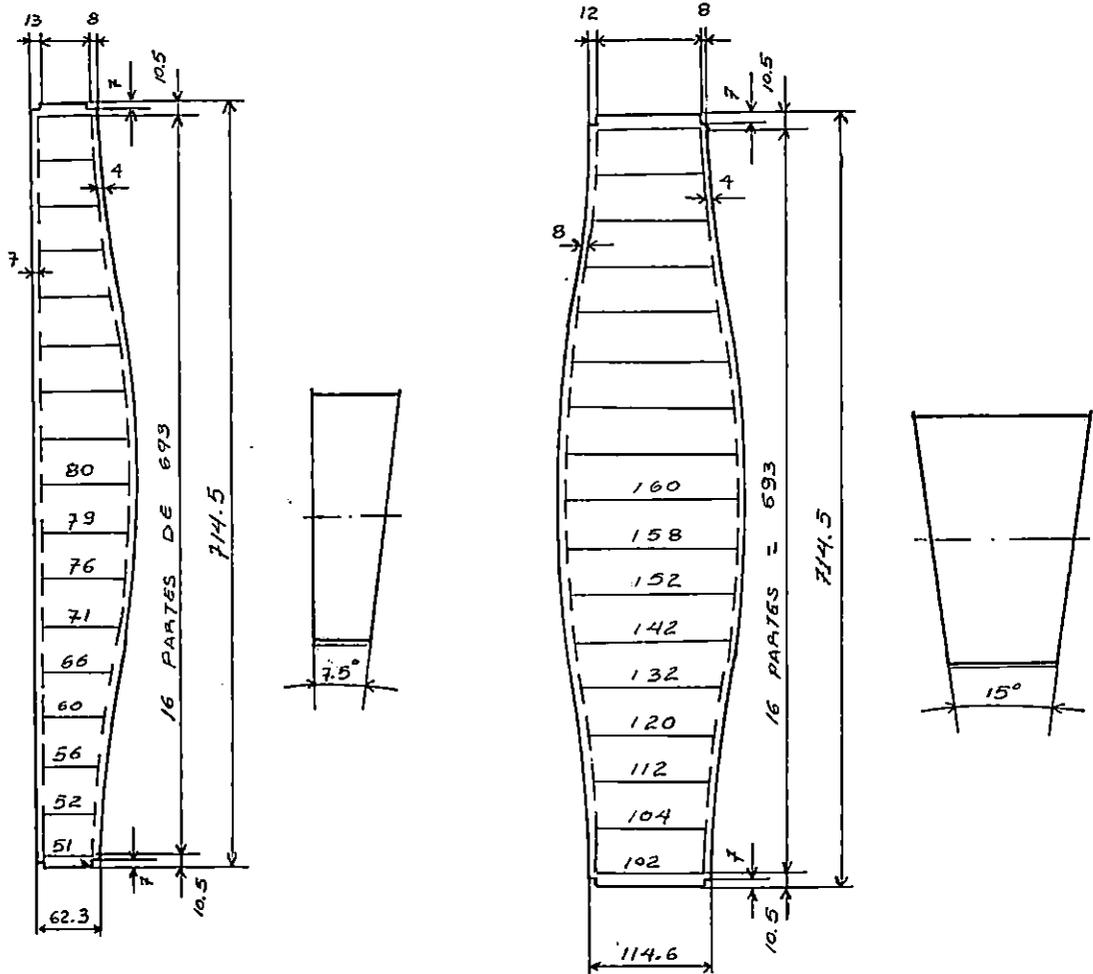
cotas en mm

No	ACTIVIDADES
1	Sección A - A y B - B Unión de pliegue saliente para unir el ducto circular superior de la campana de extracción con la entrada al extractor.
2	Sección C - C Unión engargolada para unir la hoja de lámina galvanizada después de ser enrollada.



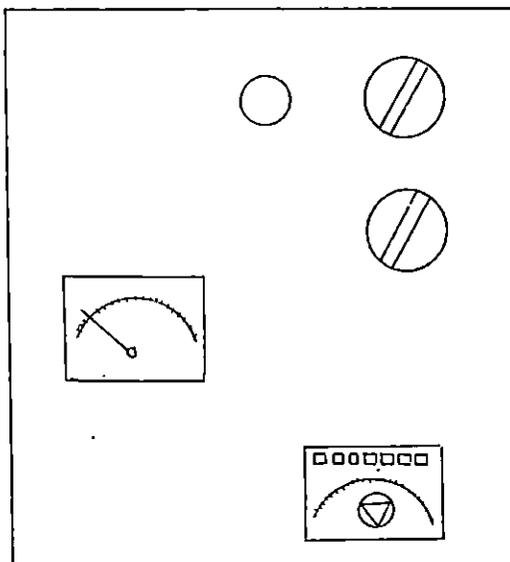
cotas en mm

No	ACTIVIDADES
1	Unión engargolada para unir las secciones de lámina después de ser cortadas y enrolladas.
2	Unión de pliegue saliente para unir entre sí las diferentes secciones por que está formado el codo de sección circular.



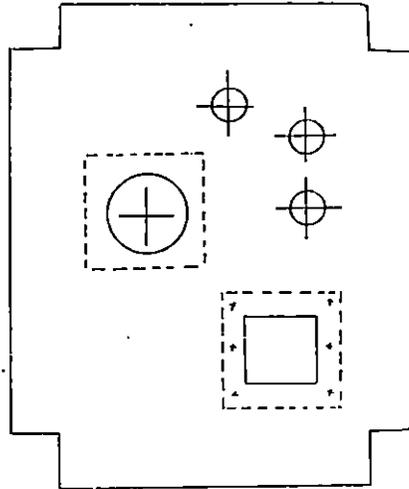
cotas en mm

No	ACTIVIDADES
1	<p>La forma de cortar las distintas secciones por las que está compuesto el codo, se muestran en la figura.</p> <p>En la figura se representan las secciones de codo de 15° y de 7.5°.</p>



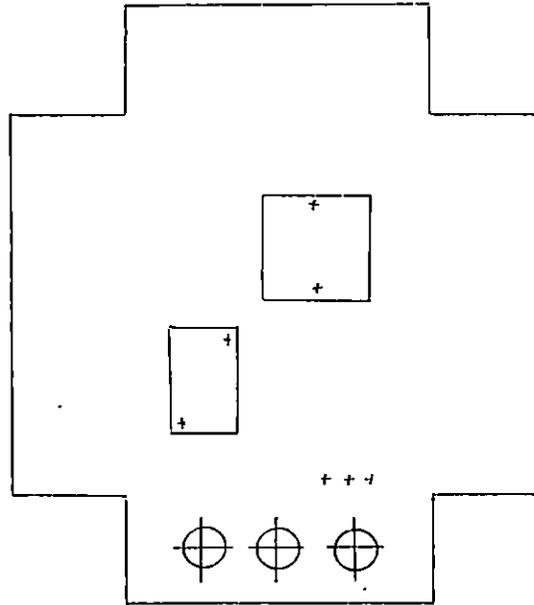
cotas en mm

DESCRIPCION	MATERIALES Y HERRAMIENTAS
1. Térmico de Control General.	- Lámina de hierro para el panel
2. Piloto.	- Material eléctrico descrito
3. Control de Temperatura.	- Alambre para uniones
4. Botonera de encendido y apagado del Horno.	- Conectores
5. Botonera de encendido y apagado del extractor.	- Destornillador
6. Amperímetro.	- Rayador
7. Contactor	- Tijera para lámina
	- Lima
	- Taladro



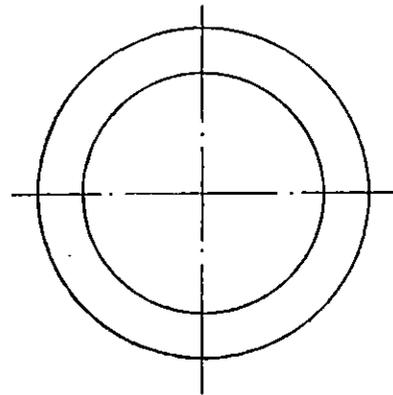
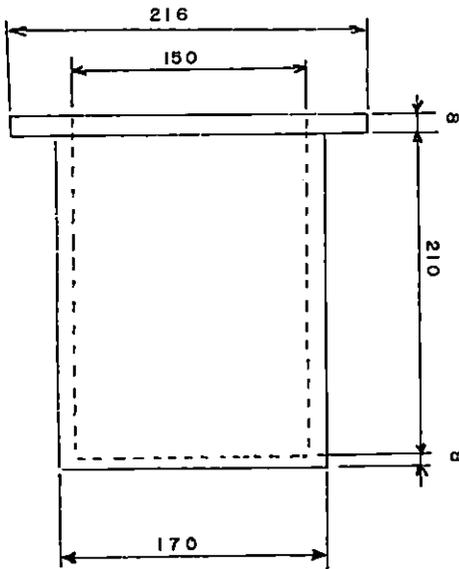
cotas en mm

No.	ACTIVIDADES	MATERIAL Y HERRAMIENTAS
1	Trazar en la lámina el desarrollo para la tapadera. (312 x 362 x 14)mm	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lámina de hierro</li> <li>- Rayador</li> <li>- Cíncel</li> <li>- Centropunto (punzón)</li> <li>- Taladro</li> <li>- Brocas de 5 y 30 mm</li> <li>- Martillo</li> <li>- Lima plana</li> <li>- Lima Circular</li> <li>- Prensa de Banco</li> <li>- Equipo de soldadura eléctrica</li> <li>- Electrodo de 3/32 "</li> <li>- Regla</li> <li>- Cinta Métrica</li> <li>- Compás</li> <li>- Guantes de cuero</li> <li>- Careta</li> </ul>
2	Cortar la lámina sobre los trazos y limar los filos.	
3	Trazar los espacios que ocuparán los instrumentos eléctricos y extraer los pedazos excedentes.	
4	Marcar y perforar sobre las posiciones de los pernos de sujeción con broca de 5 mm.	
5	Perforar 3 agujeros de 30 mm de diámetro para el piloto y los interruptores.	
6	Efectuar los dobleces para formar la tapadera y soldar.	



cotas en mm

No.	ACTIVIDADES	MATERIAL Y HERRAMIENTAS
1	Trazar en la lámina el desarrollo para la caja (305 x 355 x 155) mm	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lámina de hierro cal.</li> <li>- Rayador</li> <li>- Cíncel</li> <li>- Centropunto (punzón)</li> <li>- Taladro</li> <li>- Broca de 5 mm</li> <li>- Broca de 22 mm</li> <li>- Martillo</li> <li>- Prensa de Banco</li> <li>- Equipo de soldadura eléctrica</li> <li>- Electrodo de 3/32"</li> <li>- Lima plana</li> <li>- Regla</li> <li>- Cinta Métrica</li> <li>- Guantes de cuero</li> <li>- Careta</li> </ul>
2	Cortar la lámina sobre los trazos y eliminar los filos	
3	Marcar las posiciones que ocuparán el térmico, el contactor y las borneras	
4	Marcar las posiciones para los pernos que sujetarán los elementos.	
5	Perforar cada marca con broca de 5 mm	
6	Perforar 3 agujeros de 22 mm de diámetro	
7	Efectuar dobleces para formar la caja y soldar.	



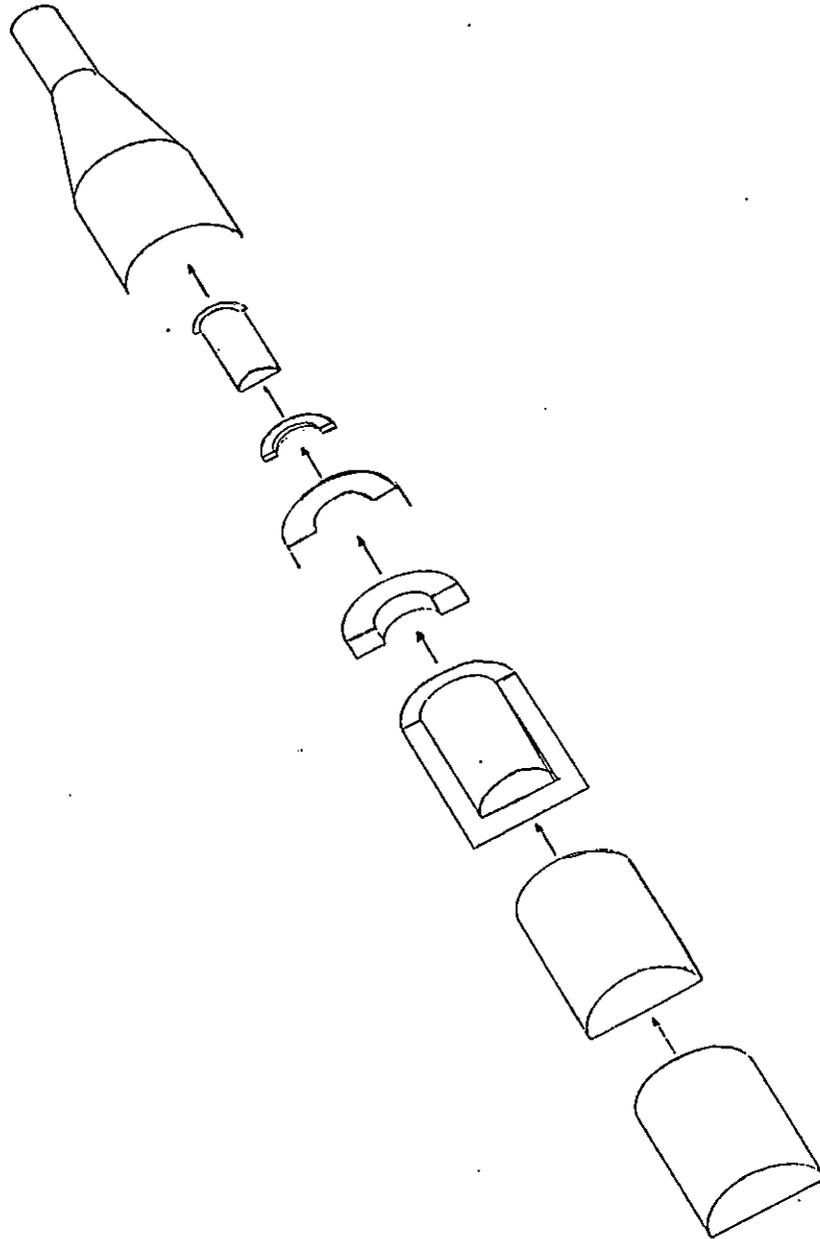
cotas en mm

No	ACTIVIDADES
1	Cortar la tubería de hierro a una longitud de 210 mm y limar los bordes.
2	Cortar de la placa de hierro el círculo que servirá como fondo del crisol.
3	Soldar el fondo del crisol con soldadura eléctrica.
4	Pulir la soldadura a fin de detectar porosidades.

Proceso de fabricación  
Ensamble final

Ensamble total del horno y el  
sistema de extracción y control

Pag.20



## CAPITULO V: PRUEBA DEL HORNO DE NITRURACION

Una vez finalizada la etapa constructiva y de ensamble del horno de nitruración, se procederá a realizar la prueba del mismo. Para ello, el horno será energizado y se calentará hasta la temperatura de 600°C, la cual es la temperatura máxima del proceso de nitruración.

Durante el desarrollo de la prueba, se tomará el tiempo de estabilización a la temperatura prefijada; para luego esbozar la curva de calentamiento del horno en una gráfica T vrs t.

### 5.1. DETERMINACION DE PARAMETROS DE FUNCIONAMIENTO

El día anterior a la prueba, se calentó el horno hasta una temperatura de 50°C y se mantuvo así por espacio de seis horas. Luego, fué incrementándose gradualmente la temperatura, hasta llegar a 200°C y se mantuvo durante 4 horas, a fin de que liberara toda la humedad retenida, dejándose enfriar posteriormente.

El día de la prueba, la temperatura ambiente presentaba un valor de 25°C, además era un día nublado y frío, lo que demuestra la existencia de condiciones adversas a la realización de la prueba.

La prueba se inició a las 6:35 am , energizando el sistema y fijando un valor de temperatura de 50°C, anotando el tiempo que

se tardó el horno en alcanzar este valor, y manteniéndolo durante 30 minutos, y así sucesivamente para intervalos de 50°C de temperatura.

TABLA 5.1

Temperatura	tiempo	observaciones
50° C	0'00"	arranque
	0'49"	d
	4'05"	c
	4'25"	d
	6'44"	c
	7'04"	d
	9'44"	c
	10'08"	d
	12'44"	c
	13'01"	d
	15'30"	c
	15'50"	d
	18'35"	c
	18'52"	d
	21'15"	c
	21'33"	d
	24'08"	c
	24'26"	d
	27'10"	c
	27'30"	d
	30'09"	c
	30'26"	d

TABLA 5.2

Temperatura	Tiempo	Observaciones
100°C	0'00"	arranque
	1'13"	d
	5'02"	c
	5'30"	d
	8'50"	c
	9'20"	d
	13'03"	c
	13'33"	d
	17'16"	c
	17'45"	d
	21'47"	c
	22'17"	d
	26'36"	c
	27'04"	d

NOTAS:

c : el horno conecta

d : el horno desconecta

TABLA 5.3

Temperatura	Tiempo	Observaciones
150° C	0'00"	arranque
	1'28"	d
	3'41"	c
	4'25"	d
	6'21"	c
	7'21"	d
	8'55"	c
	9'38"	d
	11'47"	c
	12'25"	d
	14'29"	c
	15'09"	d
	17'33"	c
	18'13"	d
	20'32"	c
	21'08"	d
	23'35"	c
	24'12"	d
	26'36"	c
	27'12"	d
	29'31"	c
	30'13"	d

TABLA 5.4

temperatura	tiempo	Observaciones
200° C	0'00"	arranque
	1'09"	d
	2'43"	c
	3'27"	d
	4'45"	c
	5'28"	d
	7'01"	c
	7'44"	d
	9'13"	c
	9'54"	d
	11'27"	c
	12'10"	d
	13'45"	c
	14'29"	d
	16'13"	c
	17'00"	d
	18'47"	c
	19'26"	d
	21'16"	c
	21'58"	d
	23'49"	c
	24'30"	d
	26'16"	c
	26'58"	d
	28'49"	c
	29'30"	d

TABLA 5.5

Temperatura	Tiempo	Observaciones
250°C	0'00"	arranque
	1'46"	d
	2'30"	c
	3'30"	d
	4'16"	c
	5'14"	d
	5'59"	c
	6'48"	d
	7'39"	c
	8'26"	d
	9'20"	c
	10'07"	d
	11'02"	c
	11'50"	d
	12'42"	c
	13'32"	d
	14'25"	c
	15'07"	d
	16'04"	c
	16'50"	d
	17'49"	c
	18'32"	d
	19'39"	c
	20'25"	d

TABLA 5.6

Temperatura	Tiempo	Observaciones
300° C	0'00"	arranque
	2'39"	d
	3'09"	c
	4'12"	d
	4'44"	c
	5'33"	d
	6'12"	c
	7'03"	d
	7'39"	c
	8'31"	d
	9'04"	c
	10'00"	d
	10'37"	c
	11'34'	d
	12'12"	c
	13'06"	d
	13'42"	c
	14'45"	d
	15'21"	c
	16'14"	d
	16'56"	c
	17'53"	d
	18'36"	c
	19'31"	d

TABLA 5.7

Temperatura (°C)	tiempo	observaciones
400 °C	0' 00"	arranque
	2' 25"	d
	2' 49"	c
	3' 33"	d
	4' 00"	c
	4' 37"	d
	5' 08"	c
	5' 44"	d
	6' 18"	c
	6' 51"	d
	7' 26"	c
	7' 59"	d

TABLA 5.8

temperatura (°C)	tiempo	observaciones
500°C	0'00"	arranque
	5'24"	d
	5'38"	c
	6'35'	d
	6'52'	c
	7'37"	d
	7'56'	c
	8'39"	d
	9'01"	c
	9'40"	d
	10'01"	c
	10'41"	d

TABLA 5.9

temperatura(°C)	tiempo	observaciones
600	0'00"	arranque
	10'10"	d
	10'21"	c
	11'35"	d
	11'49"	c
	12'44"	d
	12'55"	c
	13'48"	d
	14'01"	c
	14'54"	d
	15'10"	c
	16'02"	d

200  
161

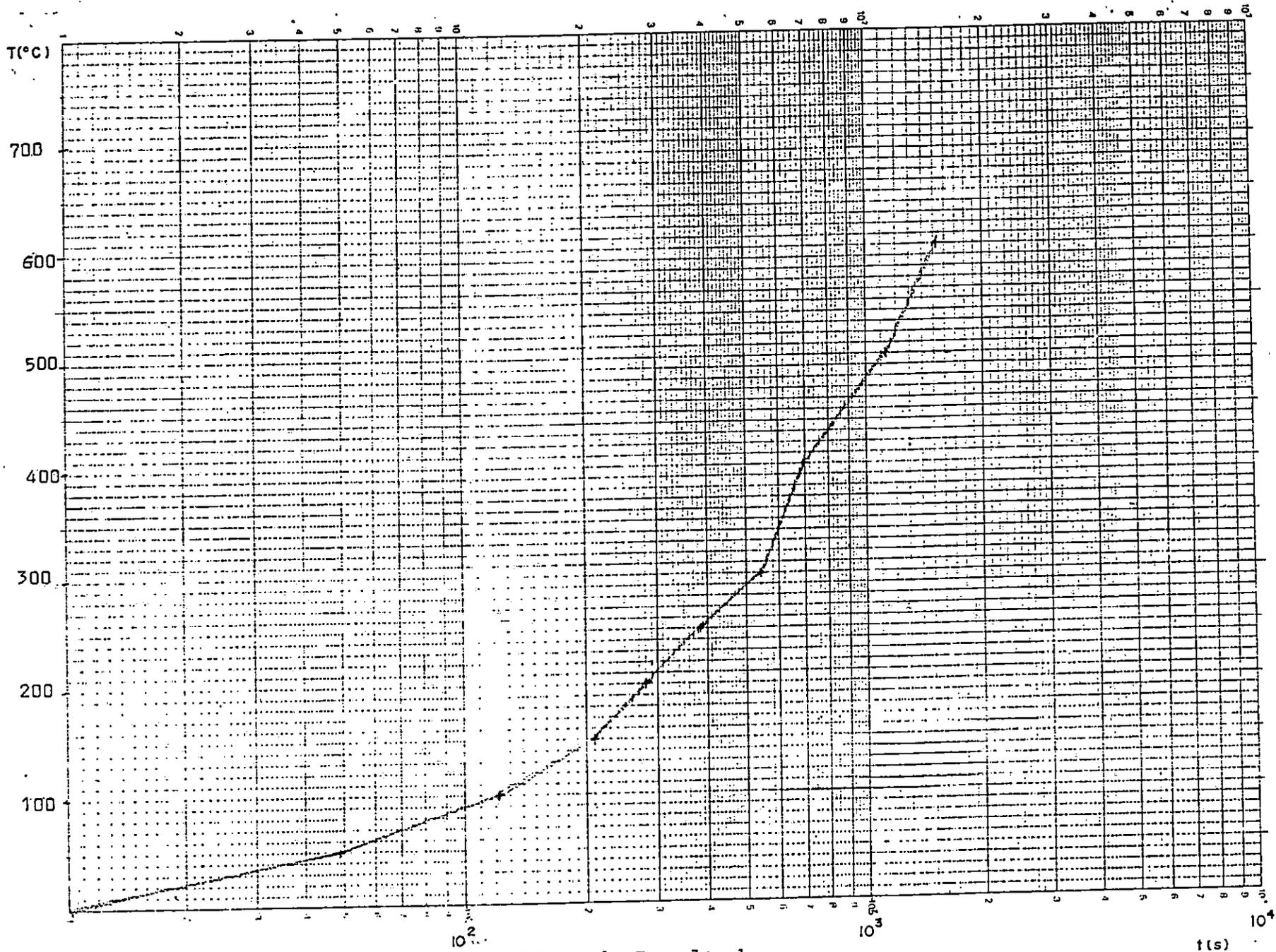


Figura 5.1 Gráfica de Resultados

## CAPITULO VI: MANUAL DE OPERACION Y MANTENIMIENTO DEL HORNO DE NITRURACION.

Este capítulo tiene como objetivo, ser una guía para obtener el mejor servicio posible del equipo.

Básicamente las fallas que se originan en un equipo son ocasionadas por las siguientes fuentes :

- a) el equipo mismo
- b) el ambiente circundante
- c) el personal que en él interviene
  - de mantenimiento
  - de operación

El equipo se vuelve una fuente de fallas más o menos importantes dependiendo de las propiedades del mismo, de la calidad de los materiales empleados en él, del diseño y de la calidad de la instalación en el lugar donde funcionará.

De acuerdo a lo anterior, se considerarán dichos factores y se combinarán para la mayor optimización y eficiencia del proyecto del Horno de Nitruración.

El ambiente circundante se torna una fuente de fallas cuando es agresivo al equipo, por ejemplo humedad y temperatura fuera de

especificaciones, polvo, humo, salinidad o acidez, etc. Es necesario preservar un ambiente adecuado para el equipo a fin de reducir al mínimo las fallas por este concepto. Hay equipos que no pueden operar adecuadamente y menos, por largo tiempo, si el medio ambiente no es apropiado, por lo tanto, hay que considerar mucho este factor.

El personal que en él interviene se comporta como una fuente de fallas, cuando sus habilidades manuales y de pensamiento lógico son de baja calidad, también cuando no se conoce en forma plena al equipo.

El personal de mantenimiento debe conocer muy bien el equipo a mantener, tanto física como funcionalmente. Asimismo el personal de operación debe ser capacitado eficazmente en el uso del equipo para eliminar o reducir considerablemente las fallas provenientes de esta fuente.

#### 6.1 PRECALENTAMIENTO DEL HORNO DE NITRURACION

Cuando el aislamiento refractario del horno de nitruración está húmedo, es indispensable, antes de operarlo, someterlo a un proceso de secado y precalentamiento de la siguiente manera :

1. Abrir la puerta del horno de nitruración.
2. Antes de energizar el circuito, asegurarse de que el control

de temperatura marque 0°C.

3. Energizar el circuito de alimentación del horno de nitruración.
4. Ajustar el control de temperatura a 50°C.
5. Mantener el horno a la temperatura de 50°C por un período mínimo de 4 horas.
6. Elevar la temperatura hasta 200°C y mantenerlo así durante 4 horas, hasta que todo rastro de humedad haya desaparecido.
7. Durante todo este periodo la puerta deberá estar abierta, con objeto de liberar el vapor de agua.

Nota :

Si se realiza el proceso antes de que el horno esté completamente seco, éste se verá obviamente afectado por el vapor de agua atrapado en el horno.

8. Si el horno está seco, el calentamiento del horno debe llevarse a cabo en una forma escalonada, de acuerdo a la tabla siguiente:

TABLA 6.1 TIEMPO DE PRECALENTAMIENTO (HORNO SECO)

TEMPERATURA (°C)	TIEMPO (MIN.)
50	30
100	30
150	30
200	30
300	30
400	30
500	30
600	30

9. Cuando el horno ha tenido uso continuo se puede efectuar el calentamiento en la forma siguiente:

TABLA 6.2 TIEMPO DE PRECALENTAMIENTO (USO CONTINUO)

TEMPERATURA (°C)	TIEMPO (MIN)
200	30
300	30
400	30
500	30
600	30

#### 6.2 INSTRUCCIONES DE OPERACION DEL HORNO DE NITRURACION.

Antes de cargar el horno es muy importante asegurarse de que el horno esté tan limpio como sea posible. La importancia de esta radica en el hecho de aumentar la vida útil de los diversos componentes del horno.

1. Después de colocar el interruptor general en la posición "ON" (encendido), deberá notarse que se encenderá la luz verde, indicando que el panel está energizado.
2. Al colocar el interruptor en la posición "ON" (encendido), la corriente eléctrica pasará a través del elemento calefactor.
3. Ajustar el control de temperatura a un valor determinado.  
Cuando el horno alcance este valor de temperatura, el control

automático desenergizará la resistencia.

4. Incrementar gradualmente la temperatura (tal como se describe en la sección 6.1 ) hasta alcanzar la temperatura de operación.
5. Una vez el horno alcance la temperatura de operación, procédase a controlar el tiempo de operación del horno.

### 6.3 MANTENIMIENTO Y AJUSTES DEL HORNO DE NITRURACION

Las fallas en servicio de cualquier equipo, pueden evitarse o disminuirse por el mantenimiento regular. Obviamente, es imposible cubrir todas las eventualidades, por lo que se abarcarán puntos comunes a la gran mayoría de condiciones que probablemente sean conocidas.

Para ello, es necesario que las instrucciones y sugerencias aquí planteadas, sean leídas por quienes utilizarán el Horno de Nitruración, y mantenerlas accesibles por alguna probable necesidad.

En caso de sospechar de una falla, se sugiere referirse a las instrucciones para localizar y rectificar.

#### 6.3.1 ACTIVIDADES DE INSPECCION Y MANTENIMIENTO

##### NOTA :

Antes de realizar cualquier actividad de mantenimiento o

ajuste del equipo, asegúrese de que el sistema esté desenergizado.

1. Revisar periódicamente la superficie metálica del Horno de Nitruración, con el fin de buscar grietas o perforaciones al cuerpo de éste por el cual pueda entrar humedad.
2. Revisar periódicamente el sistema de extracción del horno, con el fin de buscar picaduras o grietas por donde puedan haber fugas. Si se encontraran, habrá que sellarlas inmediatamente.
3. Revisar las conexiones del elemento calefactor y fijar las uniones para evitar falsos contactos.
4. Mantener el tablero de control aislado y libre de calor y humedad, para evitar un cortocircuito.
5. Proteger los cables de alimentación del elemento calefactor, los cables de la termocupla y los cables de alimentación del motor del extractor, para evitar cualquier humedad y objetos sobre ellos.
6. Mantener siempre cubiertas las conexiones del elemento calefactor con la caja de protección.
7. Inspeccionar periódicamente el cuerpo refractario del horno para comprobar su estado.
8. No colocar ningún objeto o líquido que se pueda derramar sobre el tablero o panel de control.
9. Pintar la superficie metálica del horno y del sistema de extracción cada 2 años, a fin de evitar la corrosión en la

superficie metálica.

#### 6.3.2 LIMPIEZA DEL HORNO DE NITRURACION.

1. Remueva la puerta del horno.
2. Remueva el crisol con el anillo de sujeción.
3. Utilizando un cepillo suave, limpie el polvo en el piso del horno y extráigalo en forma conveniente.

#### 6.3.3 LIMPIEZA DEL CRISOL.

1. Remueva el crisol
2. Elimine las sales desgastadas en forma adecuada.
3. Enjuague el crisol con una solución de Hipoclorito de Sodio, guardando las debidas precauciones y deje secar.

#### 6.3.4 ENGRASE

El motor del extractor está construido para servicio pesado y operará libre de deficiencias si se mantiene apropiadamente.

Si el horno se destina a operación continua, el motor deberá engrasarse cada quince días. Si en cambio, sólo es utilizada periódicamente, es suficiente engrasar el motor una vez al mes.

### 6.3.5 MANTENIMIENTO DEL CONTACTOR

Debe recordarse que cada vez que opera el control automático de temperatura, la corriente puede circular o no por el contactor, ocasionando que pueda llegar a quemarse por el arco causado por la interrupción y reestablecimiento de la corriente eléctrica.

Si la superficie del núcleo de hierro laminado está oxidada y los contactos de cobre del contactor llegaran a quemarse, éste no operará adecuadamente, por lo que, es prudente inspeccionar periódicamente el contactor.

Teniendo chequeados los contactos y el núcleo de hierro del contactor, es aconsejable lubricar los cojinetes y el eje del contactor, con el fin de garantizar un movimiento libre.

### 6.3.6 MANTENIMIENTO DE INSTRUMENTOS ESPECIALES

Para el mantenimiento del controlador de temperatura, el amperímetro, la termocupla y otro equipo especial, es conveniente revisar y ajustar periódicamente la instalación y el equipo.

Datos particulares pueden obtenerse del manual de instrucciones suministrado por el fabricante.

Para comprobar el correcto funcionamiento de la termocupla se utiliza una fórmula empírica, la cual es :

$$T = \frac{V}{0.041} \quad (\text{Ec. 6.1})$$

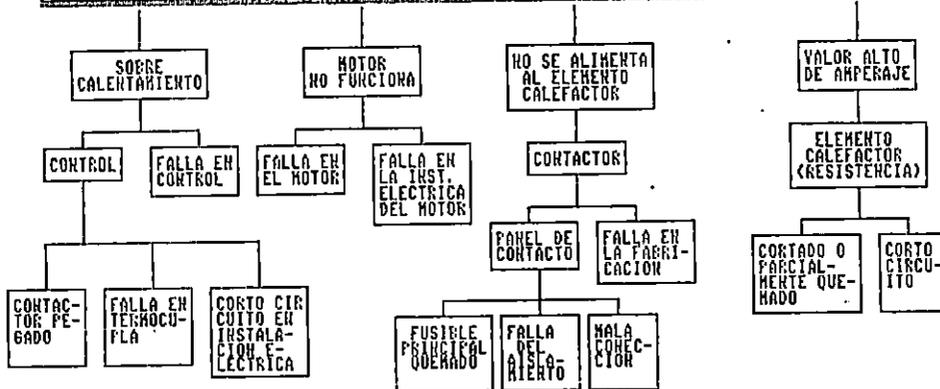
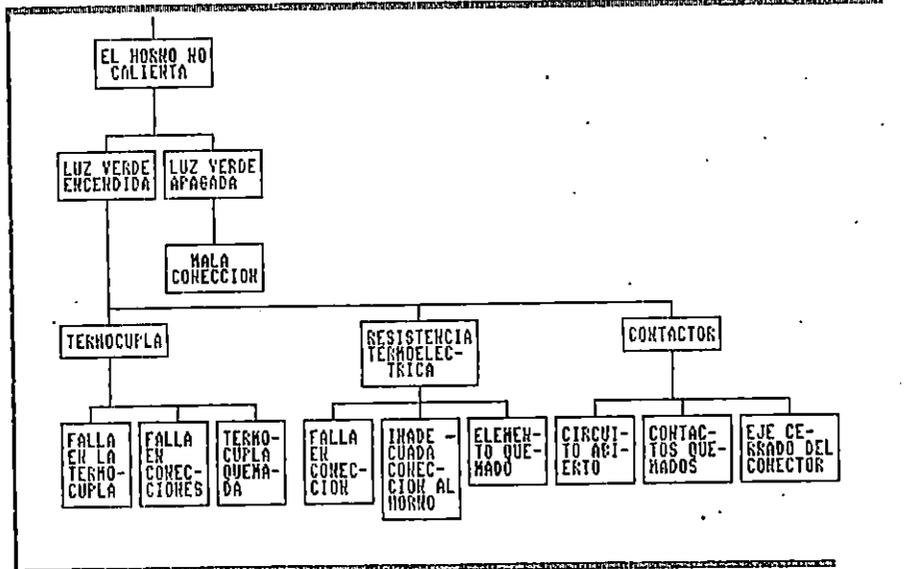
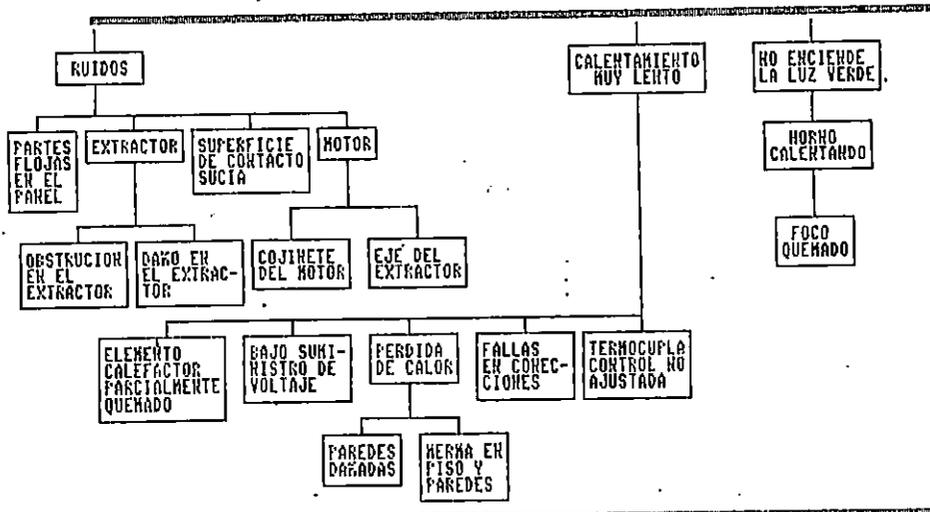
donde :

T = temperatura del horno (°C)

V = voltaje en los terminales de la termocupla (mV)

y el valor obtenido se compara con la figura I (anexos)

## 6.4 CARTA DE LOCALIZACION DE FALLAS



## 7.0 CONCLUSIONES

- Es factible la construcción del Horno de Nitruración y su sistema de extracción, ya que no se necesitan herramientas ni equipo sofisticado, sino solamente lo básico que se detalla en el proceso de construcción.

Esto vuelve al horno accesible a la pequeña y mediana empresa, ya que es factible su construcción local.

- La principal ventaja que presenta el proceso de nitruración, es su multiplicidad de uso, ya que pueden ser tratados con facilidad todos los materiales ferrosos, altamente, débilmente o no aleados, todos los hierros fundidos e inclusive materiales austeníticos.

- El lugar donde se proyecte construir el Horno de Nitruración debe ser definitivo, y presentar condiciones seguras para el funcionamiento del mismo.

- El diseño del Horno de Nitruración, a partir de un barril de lámina como carcasa, facilita la construcción del mismo a la vez que mejora la eficiencia, ya que la forma cilíndrica permite menos fugas del flujo de calor, además de que el costo es bajo y es fácil de obtener en el mercado local.

- La temperatura en la pared exterior del horno se estimó en 60°C, con el fin de que el horno no presente peligro por quemadura, al entrar en contacto con ella.
  
- No es necesario separar los baños de sal del ambiente que los rodea, por lo que son siempre fácilmente accesibles, se pueden formar junto con otras instalaciones circundantes, tales como hornos de precalentamiento, diferentes unidades de enfriamiento, sistema de lavado, etc.

## 8.0 RECOMENDACIONES

- Para las prácticas y pruebas de nitruración se recomienda emplear únicamente sales no tóxicas, con lo cual se evita cualquier tipo de contaminación al laboratorista y al medio ambiente.
  
- Para prolongar la vida útil del horno y minimizar los efectos dañinos del medio ambiente sobre el mismo, se recomienda evitar cualquier filtración de humedad y polvo sobre el área del horno.
  
- Además, se sugiere ejecutar correctamente y en su debido orden los pasos para la operación del horno, y cumplir con cada una de las sugerencias de mantenimiento del mismo.
  
- A fin de evitar accidentes, se recomienda cumplir con las normas básicas de seguridad para el manejo del horno , tales como: no tocar la superficie metálica del horno, no abrir el panel de control eléctrico sino está técnicamente capacitado, etc.

- Si no se está familiarizado con los métodos de programación de redes, es aconsejable que se utilice el método PDM, ya que presenta los programas de manera cómoda y la facilidad de representar relaciones de precedencia compleja; así como también la facilidad de visualización de tiempos en que ocurran las actividades, duración y la ruta crítica.
  
- Si el horno se destinará para servicio pesado o semipesado, se recomienda empotrar la resistencia en un canal dentro del refractario.
  
- Es aconsejable la instalación de un fusible de 50 amperios a la entrada del amperímetro, a fin de protegerlo contra sobrecarga.

## 9.0 BIBLIOGRAFIA

1. Lajtin , Yu

TRATAMIENTO TERMICO DE LOS METALES. Editorial MIR.  
moscu.

2. Guliaev , A.P.

METALOGRAFIA. 2ª Edición. Editorial MIR moscu .  
URSS . 1983

3. Trinks , W.

HORNOS INDUSTRIALES. VOLUMEN I Y II. Ediciones  
URMO. España, 1971

4.

STEEL AND ITS TREATMENT.

5. Apraiz Barreiro , José

TRATAMIENTO TERMICO DE LOS ACEROS. 8ª Edición.  
Editorial Dossat. España, 1985

6. Avner ,

INTRODUCCION A LA METALURGIA FISICA. 2ª Edición.  
Editorial Mc Graw Hill. Méjico, 1979

7. Keyser , Carl A.

CIENCIA DE MATERIALES PARA INGENIERIA. Editorial  
LIMUSA. Méjico.

8. Romero , José Raúl

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN HORNO DE RESISTENCIA  
ELECTRICA PARA EL TRABAJO EN CERAMICA. Trabajo de  
Graduación. Escuela de Ingeniería Mecánica, 1987

9. Askeland, Donald R.

LA CIENCIA E INGENIERIA DE LOS MATERIALES.  
1ª Edición. Grupo Editorial Iberoamericana. Méjico.  
1987

10. Marks

MANUAL DEL INGENIERO MECANICO. Editorial Prentice  
Hall

11. Toolroom Tempering Furnaces

INSTALLATION, OPERATION, MAINTENANCE INSTRUCTIONS.

12. Welty , James R.

FUNDAMENTOS DE TRANSFERENCIA DE MOMENTO, CALOR Y  
MASA. 1ª Edición .Editorial LIMUSA. Méjico. 1982

13. Taylor Lyman

METAL HANDBOOK. ASM HANDBOOK COMMITTEE. 8ª Edición.  
Editorial A.S.T.M. 1964

14. Degussa AG.

DURFERRIT TECHNICAL INFORMATION .

15. Kern , Donald A.

PROCESOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR. CECSA. 1ª  
Edición

16.

AIR ,CONDITIONING AND REFRIGERATION INSTITUTE. 1ª  
Edición. Editorial Prentice Hall. Méjico. 1979

17. CIAS

MANUAL DE FUNDAMENTOS DE HIGIENE INDUSTRIAL

18. FIPRO

CURSO SUPERIOR DE VENTILACION INDUSTRIAL. MODULO  
VIII.

19. Moore , Harry D.

MATERIALES Y PROCESOS DE FABRICACION. Editorial  
LIMUSA.

20. Vásquez, Eduardo Alberto

REDISEÑO Y RECONSTRUCCION DE UNA INSTALACION PILOTO  
PARA FUNDICION EN UN HORNO DE CRISOL. Trabajo de  
Graduación. 1986

21. Wilson , Frank W.

MANUFACTURING PLANNING AND ESTIMATING HANDBOOK. ASTME  
SME Books. Editorial Mc Graw Hill

22. E. P. S.

TECNOLOGIA MECANICA. TOMOS I Y II. Ediciones Don  
Bosco. 14ª Edición. España. 1974

23. Sirohi , R. S.

MEDICIONES MECANICAS. 1ª Edición. Editorial LIMUSA.  
Méjico. 1986

24. Perry , Robert H.

MANUAL DEL INGENIERO QUIMICO. VOL I. 5ª Edición.  
Editorial McGraw Hill. Méjico.

25. Mills , Gordon H.

TECHNICAL WRITING. Holt Rinchart andWinston INC.  
USA. 1972.

26. Himmelblau , David M.

BALANCES DE MATERIA Y ENERGIA. 1ª edición. Prentice  
Hall. Méjico. 1988.

27. The Quaterly Journal of the WolfsonHeat Treatment Center.

HEAT TREATMENT OF METALS. 1994.3

A N E X O S

## IMPACTO ECOLOGICO DEL HORNO DE NITRURACION

Debe entenderse por contaminación, a la presencia en el aire, agua o suelo, de sustancias tóxicas, puestas allí por la actividad humana, en cantidades y concentraciones capaces de interferir con el bienestar y la salud de personas, animales y plantas, o con el pleno uso y disfrute de la propiedad.

Actualmente, los índices de contaminación ambiental alcanzan valores sorprendentes. Causa asombro el deterioro y el daño causado por el avance tecnológico y humano sobre los recursos de la Tierra.

En el presente trabajo, se han mencionado las muchas ventajas que presentan los baños de sal, pero también existen ciertas desventajas, tales como los problemas ambientales causados por productos químicos tóxicos, producto de su utilización y almacenamiento, y la formación de desechos y aguas residuales, que tendrán que ser descontaminadas o desintoxicadas.

Estos problemas de contaminación ambiental se han resuelto :

- evitando la formación de desechos, ya que durante el proceso de nitruración se consumía parte de los componentes activos o cianatos, por lo que, de cuando en cuando se le tenía que agregar sal fresca. Se presentaba entonces sal vieja, es decir sal agotada, la cual se guardaba en toneles y se almacenaba en

minas. Estos problemas se solventaron añadiendo un regenerador, con objeto de que la sal agotada recuperara su original estado activo, con lo que ya no se producirían sales de desecho que tengan que tirarse.

- eliminando los productos nocivos.

El producto usado para restaurar las sales es un regenerador, el cual consiste de un compuesto orgánico que contiene carbono, nitrógeno e hidrógeno. El regenerador tampoco es tóxico y nocivo, por lo que no hay problemas respecto a su almacenamiento, transporte o manejo en el taller de templado.

El proceso de regeneración se presenta en la figura II.

Los productos nocivos se eliminaron con el desarrollo de una sal no tóxica, la cual elimina el cianuro de los baños de sal. Esta sal no tóxica opera en un sistema sodio-potasio-cianato-carbonato con un contenido de cianato en el rango de 35% a 38%.

La meta del permanente desarrollo de procesos de baños de sales es la eliminación de la contaminación. Básicamente se ha logrado con el uso de regeneradores, eliminando los desechos de sales, al igual que con sistemas de desintoxicación y extracción.

La hoja de datos de seguridad para las sales no tóxicas Durferri TF-1 se presentan en la tabla VII

TABLA I  
CONDUCTIVIDAD TERMICA PARA METALES Y NO METALES

MATERIAL	TEMPERATURA	CONDUCTIVIDAD TERMICA ( w / m °C )
Aluminio	Ambiente	2386.40
Cobre	Ambiente	380.99
Acero Inoxida- ble	Ambiente	22.48
Acero al carbón C ≈ 0.5%	0 °C	55.00
	600 °C	35.00
	800 °C	31.00
C ≈ 1.0%	0 °C	43.00
	600 °C	33.00
	800 °C	29.00
Hierro puro	Ambiente	334.93
	600 °C	40.00
	800 °C	36.00
Ladrillo refrac- tario	500 °C	1.04
	800 °C	1.07
Lana de vidrio	23 °C	0.038
Asbesto	100 °C	0.161
Cemento Portland		0.29
mortero	23 °C	1.16

TABLA II

EMISIVIDAD NORMAL TOTAL DE LAS  
SUPERFICIES SOLIDAS.

Superficie	Temperatura °C	Emisividad
Aluminio Lámina Comercial Oxidada a 599°C	100 199 - 593	0.09 0.11 - 0.19
Ladrillo de alúmina 80-58 Al O ,16-38 SiO 0.4 Fe O	1010 - 1565.6	0.61 - 0.43
Hierro Pulimentado Oxidado a 599°C Lingote Aspero	426.7 - 1026.7 198.9 - 599 926.7 - 1115.56	0.14 - 0.38 0.64 - 0.78 0.87 - 0.95
Cobre Pulimentado Placa calentada a 599°C	100 198.9 - 43.3	0.052 0.57
Acero Laminado Capa de óxido brillante calorizada a 599°C Placa áspera Superficie oxidada li- geramente fundida	24 198.9 - 599 37.7 - 371.1 1560 - 1710	0.82 0.52 - 0.57 0.94 - 0.97 0.27 - 0.39
Acero Inoxidable Pulimentado 18.8 después de 42 horas a 526.7	100 215.6 - 526.7	0.074 0.62 - 0.73

TABLA III  
VELOCIDADES MINIMAS DE CONTROL

Mínimas velocidades del aire recomendadas para la captura de polvos, gases y vapores producidos por distintos tipos de operaciones.

Condiciones de dispersión del contaminante	Velocidad mínima (m/s)	Ejemplos de procesos u operaciones.
Liberado a una velocidad no significativa en aire quieto.	0.5	Evaporación de gases en recipientes abiertos, desengrasado
Liberado a baja velocidad inicial en aire con movimiento moderado.	0.5 - 1.0	Soldadura, baños electrolíticos, decapado.
Liberado con velocidad considerable en una zona con rápido movimiento de aire.	1.0 - 2.5	Pintura por pulverización a alta presión, llenado de recipientes.
Liberado con alta velocidad en zonas de movimiento muy rápido del aire.	2.5 - 10.0	esmerilado, operaciones de abrasión en general, pulimento de rocas.

## ANEXOS

TABLA IV  
VELOCIDADES MINIMAS RECOMENDADAS EN LOS DUCTOS

Naturaleza del Contaminante	E j e m p l o s	Velocidad (m/s)
Vapores, gases, humos carbonosos y metálicos y polvos muy livianos	Vapores, gases y humos de los óxidos de zinc y aluminio, polvo de madera	10
Polvos secos de densidad mediana.	Algodón, hilachas de yute, polvos de madera, caucho y baquelita.	15
Polvos industriales corrientes	Lana, chorro de arena, esmerilado, polvo de cuero, polvo de fundición, viruta de madera	15
Polvos pesados	Polvo de plomo y fundición pesada.	20
Partículas grandes de materiales con mucha humedad.	polvos de plomo húmedo y otros polvos pesados.	25 y más

ref: " A summary of design data for exhaust systems, Heating and Ventilating", mayo de 1945 . Allen D. Brandt.

TABLA V  
MATERIALES QUE PUEDEN USARSE COMO RESISTENCIA  
ELECTRICA

Material	Resistividad	Punto de fusión (°C)	Resistencia a la oxidación, etc
Nicrom	Elevada	1500 aprox	buena hasta los 1100°C
Kanthal	Elevada	1500 aprox	buena hasta los 1250°C
Carbón	Baja	-	nula (usar en vacío o atm. reductora)
Carburo de Silicio	Baja	-	buena hasta los 1550°C
Molibdeno	Baja	2600	nula (usar en atm. de H <sub>2</sub> o a vacío)
Tungsteno	Baja	3400	nula (usar en atm. de H <sub>2</sub> o a vacío)
Platino y sus aleaciones	Baja	1775	Buena
Mezclas de sales	Media	desde 250	Buena ( pero se volatilizan y descomponen)
Siliciuro de Molibdeno	Baja	-	buena hasta los 1700°C

## ANEXOS

TABLE VI  
 CARACTERISTICAS DEL ALAMBRE KANTHAL

GAUGE	Nº	Diam. mm.	Ohm/m 20/68°T	cm <sup>2</sup> /m	m/kg	cm <sup>2</sup> /ohm 20/68°T
AWG	8	3.26				
SWG	10	3.25				
		3.25	.175	102.1	17	584.2
		3.00	.205	94.2	19.9	459.5
AWG	9	2.91				
		2.80	.235	88.0	22.9	373.5
SWG	12	2.64				
		2.60	.273	81.7	26.5	299.2
AWG	10	2.59				
		2.50	.295	78.5	28.4	266.0
		2.40	.320	75.4	31.1	235.2
SWG	13	2.34				
AWG	11	2.30				
		2.30	.349	72.3	33.9	207.1
		2.20	.381	69.2	37.0	181.2

## ANEXOS

CONTINUACION TABLA VI

GAUGE	Nº	Diam. mm.	Ohm/m 20/68 °T	cm <sup>2</sup> /m	m/kg	cm <sup>2</sup> /m 20/68 °T
AWG	12	2.05				
SWG	14	2.03				
		2.00	.462	62.8	44.8	136.1
		1.90	.511	59.7	49.7	117.3
AWG	13	1.83				
		1.80	.570	56.5	55.3	99.2
		1.70	.640	53.4	62.0	83.6
AWG	14					
SWG	16	1.63				
		1.60	.721	50.3	70.0	69.7
		1.50	.820	47.1	79.7	57.4
AWG	15	1.45				
SWG	17	1.42				
		1.40	.942	44.0	91.5	46.7
		1.30	1.092	40.8	106.1	37.3

TABLA VII  
HOJAS DE DATOS DE SEGURIDAD-DIN

Nombre comercial	DURFERRIT TF1
Caracterización Química	Mezcla de cianatos y carbonatos alcalinos.
Forma	Huevo/oval
Color	Gris claro
Olor	Sin olor
punto de inflamación	no inflamable
Límites de explosión	no explosivo
Información sobre toxicidad	
Humanos	Contacto local puede producir irritación en piel y membranas.
Animales	Ligera irritación en ojos
Efectos en la ecología	El cianato hidroliza en solución acuosa y forma carbonato de amonio
Punto de fusión o reblandecimiento	350°C
Equipo personal de protección	protección ocular protección de manos
Tipo de extintor	Polvo seco No usar CO <sub>2</sub> cerca de baños Tenifer
Medidas de higiene Industrial	No comer, beber ni fumar mientras se trabaja.

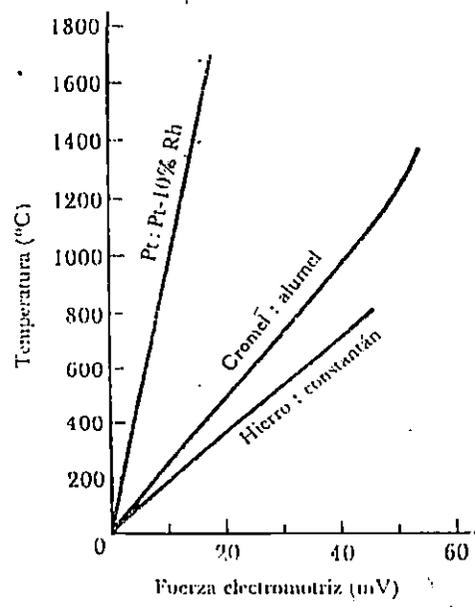
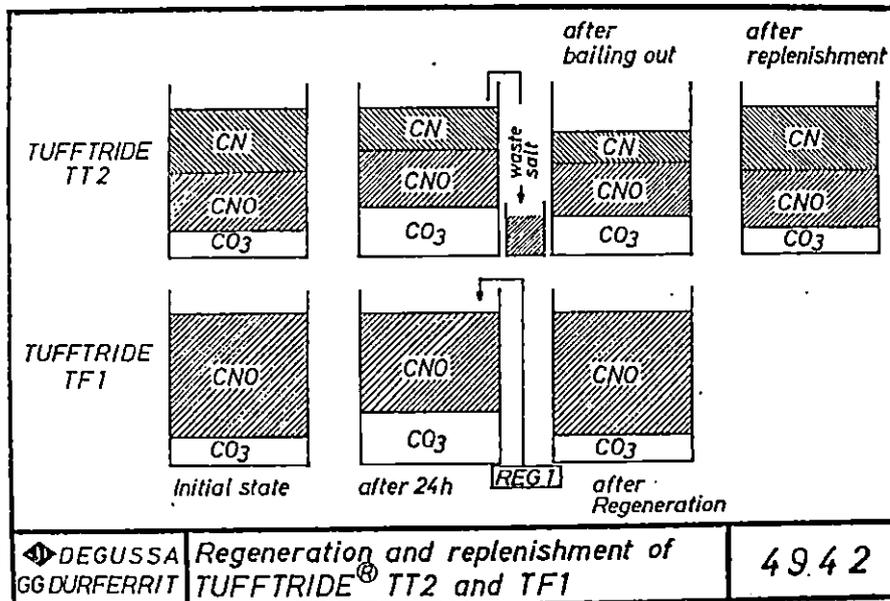
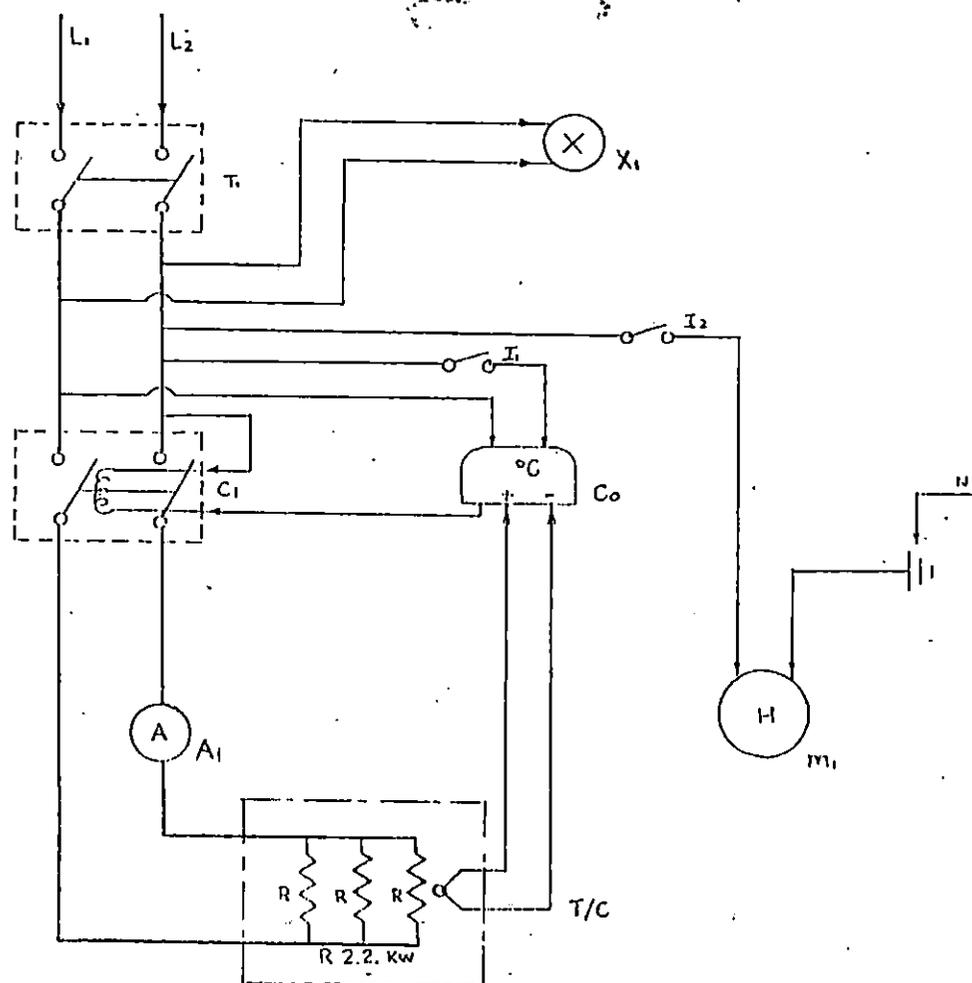


Figura I. Relación entre voltaje y temperatura para varios termopares. [9]



Regeneración.

Figura II. Proceso de regeneración de sales para nitruración.



- L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub> ALIMENTACION 220 VAC
- m<sub>1</sub> MOTOR 0.16 KW, 110 VAC, 1.5A, 3000 RPM
- C<sub>1</sub> CONTACTOR IEC-A3, PAK-20H, 40A
- T<sub>1</sub> TERMICO PRINCIPAL 60A
- A<sub>1</sub> AMPERIMETRO 0 - 50A
- X<sub>1</sub> PILOTO 220V
- I<sub>1</sub> INTERRUPTOR CONTROL DE TEMPERATURA
- I<sub>2</sub> INTERRUPTOR MOTOR EXTRACTOR
- C<sub>0</sub> CONTROL DE TEMPERATURA 0 - 1200 °C
- T/C TERMOCUPLA CROMEL - ALUMEL TIPO K
- R RESISTENCIA KANTHAL 2.2 KW

DIAGRAMA ELECTRICO

POS.	DENOMINACION	CANTIDAD	MATERIAL	MODELO
	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA	DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN HORNO DE NITRURACION		ESC. 1:1 LAMINA