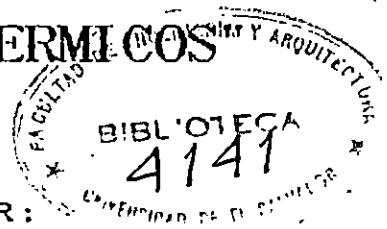


TUES
1503
D346
1995
ET-2

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



"DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN HORNO
ELECTRICO PARA EFECTUAR LABORATORIOS
DE TRATAMIENTOS TERMICOS



PRESENTADO POR:

JUAN CARLOS ALFARO AGUILAR
VICTOR MANUEL MARQUEZ LINARES
RILDO PAZ NUÑEZ
MARTIN ERNESTO VELASCO RODRIGUEZ

15100808
15100808

PARA OPTAR AL TITULO DE
INGENIERO MECANICO

CIUDAD UNIVERSITARIA, DICIEMBRE DE 1995.



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR.

RECTOR:

DR. JOSE BENJAMIN LOPEZ 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.

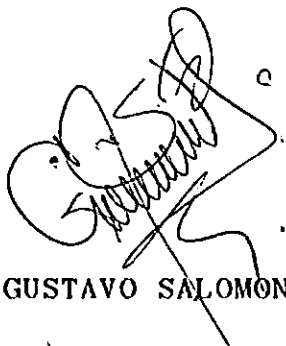
DIRECTOR:

ING. RIGOBERTO VELASQUEZ PAZ.



TRABAJO DE GRADUACION APROBADO POR:

COORDINADOR Y ASESOR:  ING. SATURNINO GAMEZ GUADRON.


ASESOR: ING. GUSTAVO SALOMON TORRES RIOS LAZO.


ASESOR: ING. AGUSTIN BARRERA CARPIO.

DEDICATORIA

- AL SER SUPREMO: Que me concedió el don maravilloso de la vida, y guía mi camino para cumplir con mi misión.
- A MI MADRE : IMELDA AGUILAR V. DE ALFARO
Quien con su sencillez y coraje de campesina supo enseñarme a tener fe en Dios, y luchar para obtener mejores condiciones de vida.
- A MI PADRE : VICTOR MANUEL ALFARO (Q.D.D.G.)
Que siempre estuvo junto a mi madre y fue su apoyo.
- A MI TIO-PADRINO: JESUS AMILCAR ALFARO
Quien tuvo siempre una frase de aliento y me incentivó para seguir adelante.
- A MIS HERMANOS : NICDAS ALBERTO, ANA MARIA Y JUANA CATALINA
Con quienes compartí buenos y malos momentos, pero siempre salimos adelante.
- A MIS SOBRINAS : KARLA GABRIELA Y YANCY CAROLINA
Que con su inocencia y sonrisa me hicieron descubrir que en todo principio de vida hay amor.

JUAN CARLOS.

DEDICATORIA

Este triunfo lo dedico a:

- DIOS OMNIPOTENTE : Por darme la luz y sabiduría para conquistar el largo camino de la vida, por guiarme y concederme fortaleza para salir adelante en todo momento.
- MI QUERIDA MADRE : Porque siempre me concedió su apoyo incondicional sin importar el sacrificio realizado. En este sencillo pero gran homenaje yo reconozco tu sacrificio y amor que siempre me has brindado.
- MI PADRE : Por ser el pilar fundamental de mi triunfo, nunca exigió nada, pero siempre reconoció el sacrificio realizado, a pesar de todos los inconvenientes siempre estuvo a mi lado, ahora celebramos este triunfo.
- MIS HERMANOS : Que de alguna u otra forma me ayudaron, les dedico este triunfo
- DE MAS FAMILIARES Y AMIGOS

VICTOR MANUEL.

DEDICATORIA

- A DIOS TODO PODEROSO: Porque sin la fe en tí no hubiera sido posible superar problemas que casi me alejan de este triunfo, te pido que siempre ilumines mi vida...
- A LA VIRGEN MARIA : A tí que eres la madre de todos los cristianos, que siempre has cuidado de mí y has sido mi auxilio y mi guía.
- A MI MADRE : Que siempre tuvo fe en mí, por su sacrificio, especialmente a ella le dedico este triunfo, porque más que mío es un triunfo de ella.
- A ZAYRA : Que siempre a esperado este momento, porque yo se que este logro le llena de mucha alegría y orgullo.
- A MIS HIJOS : Porque mis sacrificios también han sido sacrificios de ellos, y han sido la motivación principal para este triunfo.
- A ROXANA : Por su esfuerzo y sacrificio.
- A MI PADRE Y ABUELA : Con mucho cariño.
- A MIS COMPANEROS DE TRABAJO:
Porque me apoyaron y aconsejaron para seguir adelante, ellos saben que les agradezco mucho por creer en mí.

MARTIN ERNESTO.

DEDICATORIA

- A DIOS TODOPODEROSO : Porque me distes fuerza en los momentos de flaqueza y oíste mis oraciones para seguir adelante.
- A MI MADRE : Porque me ayudaste en los momentos más difíciles, brindándome tu cariño, sacrificio y dedicación.
A ti te dedico este triunfo, porque mi triunfo es tu triunfo.
- A MI PADRE (Q.E.P.D): Porque me brindó su apoyo en los inicios de mi carrera, deseándole que esté gozando de la bondad de Dios.
- A MIS HERMANOS : Porque siempre desearon que llegara este momento y me ayudaron a superar obstáculos, por lo cual les estoy muy agradecido.
- A MIS COMPAÑEROS DE TRABAJO:
Que con sus consejos y apoyo me animaron a seguir adelante, es por ello que les doy mis más sinceros agradecimientos.

RILDO.

INDICE.

| | |
|--|----|
| Introducción | i |
| Objetivos | v |
| CAPITULO 1. MARCO TEORICO | |
| 1.1 Tratamientos Térmicos. Generalidades | 1 |
| 1.1.1 Principales Tratamientos Térmicos | 1 |
| 1.1.1.1 Recocido o Recocido Total | 1 |
| 1.1.1.2 Normalizado | 4 |
| 1.1.1.3 Temple | 6 |
| 1.1.1.4 Revenido | 8 |
| 1.1.1.5 Tratamientos Térmicos Superficiales | 10 |
| 1.2 Generalidades sobre Hornos para Tratamientos Térmicos | 14 |
| 1.2.1 Hornos de Control Manual | 15 |
| 1.2.1.1 Fraguas | 15 |
| 1.2.1.2 Horno de Cámara | 16 |
| 1.2.1.3 Horno de Mufla | 16 |
| 1.2.1.4 Horno de Semimufla | 16 |
| 1.2.2 Hornos de Atmosfera Controlada | 17 |
| 1.2.3 Hornos de Baños Líquidos | 19 |
| 1.2.3.1 Baño de Plomo | 19 |
| 1.2.3.2 Baños de sales | 20 |
| 1.2.4 Calentamiento por Flama | 20 |
| 1.2.5 Hornos de Tratamiento Térmico al Vacío | 21 |
| 1.3 Hornos Eléctricos. Clasificación | 22 |

| | |
|--|----|
| 1.3.1 Hornos de Inducción | 24 |
| 1.3.1.1 Hornos de Inducción sin Núcleo | 27 |
| 1.3.1.2 Hornos de Inducción con Núcleo | 28 |
| 1.3.2 Hornos de resistencias | 29 |
| | |
| CAPITULO II. SELECCION, DIMENSIONAMIENTO Y ANALISIS | |
| 2.1 Materiales Refractarios | 32 |
| 2.1.1 Clasificación de los refractarios de acuerdo a su uso en los laboratorios de Tratamientos Térmicos | 33 |
| 2.1.2 Tipos y Propiedades de Algunos Refractarios | 34 |
| 2.1.3 Formas de Refractarios Disponibles | 38 |
| 2.1.4 Selección de Materiales Refractarios | 39 |
| 2.1.5 Espesor de pared | 40 |
| 2.2 Dimensionamiento del Horno | 42 |
| 2.2.1 Dimensionamiento de la Cámara | 42 |
| 2.2.2 Dimensiones Exteriores del Horno | 45 |
| 2.3 Selección de la Temperatura de Diseño | 47 |
| 2.4 Análisis de Transferencia de Calor en estado Estacionario | 48 |
| 2.4.1 Transferencia de calor por conducción a través de una pared plana | 48 |
| 2.4.2 Convección | 54 |
| 2.4.3 Radiación | 57 |
| 2.5 Cálculo de pérdidas de calor en Estado Estacionario | 63 |

| | | |
|--------|---|-----|
| 2.5.1 | Análisis de Transferencia de calor por las paredes verticales | 65 |
| 2.5.2 | Transferencia de calor por el techo o pared Superior | 72 |
| 2.5.3 | Transferencia de calor por la Base del Horno | 76 |
| 2.5.4 | Pérdidas Totales | 78 |
| 2.6 | Requerimientos de calor para el horno y la carga | 78 |
| 2.6.1 | Calor Almacenado por los Ladrillos | 78 |
| 2.7 | Selección de la Resistencia Eléctrica | 82 |
| 2.8 | Potencia Requerida | 88 |
| 2.9 | Control de Temperatura | 92 |
| 2.9.1 | Selección del Control de Temperatura | 103 |
| 2.10 | Termocupla | 103 |
| 2.10.1 | Selección de Termocupla | 116 |

CAPITULO III. DISEÑO DEL HORNO

| | | |
|---------|---|-----|
| 3.1 | Estructura Metálica | 117 |
| 3.1.1 | Armazón Metálica del Horno | 117 |
| 3.1.1.1 | Cálculo de la resistencia de la soldadura | 117 |
| 3.1.1.2 | Descripción de la Estructura | 124 |
| 3.1.2 | Descripción de puerta y Mirilla | 122 |
| 3.2 | Panel de Control Eléctrico | 123 |
| 3.3 | Resistencia Eléctrica | 124 |
| 3.4 | Disposición de los Elementos de Control | 131 |
| 3.5 | Diagrama Eléctrico | 133 |

CAPITULO IV. PROCESO DE FABRICACION DEL HORNO.

| | | |
|-----|--|-----|
| 4.1 | Materia Prima | 135 |
| 4.2 | Estructura Metálica | 136 |
| 4.3 | Cubierta Protectora | 139 |
| 4.4 | Pared de Ladrillo Refractario y Aislante | 141 |
| 4.5 | Control Eléctrico | 146 |
| 4.6 | Matriz de costos | 148 |

CAPITULO V. DETERMINACION EXPERIMENTAL DE LOS
PARAMETROS DEL HORNO

| | | |
|-------|-----------------------------------|-----|
| 5.1 | Curva de Calentamiento | 149 |
| 5.2 | Potencia Consumida | 150 |
| 5.3 | Temperatura de Operación | 156 |
| 5.4 | Mantenimiento y Operación | 156 |
| 5.5 | Guías de laboratorio | 161 |
| 5.6 | Análisis Económico de los Ensayos | 169 |
| 5.6.1 | Depreciación del Horno | 172 |
| 5.6.2 | Evaluación del Funcionamiento | 177 |
| | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 179 |
| | REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS | 180 |

ANEXOS

| | | |
|---|--|-----|
| 1 | : DIAGRAMA PRACTICO DE EQUILIBRIO Fe - C | 184 |
| 2 | : CARACTERISTICAS DEL ACERO AISI 1045 | 185 |
| 3 | : PROPIEDADES DE LADRILLOS REFRACTARIOS | 186 |
| 4 | : DATOS TECNICOS SOBRE FIBRAS CERAMICAS | 187 |

| | |
|---|-----|
| 5 : VENTAJAS DE FIBRAS CERAMICAS | 188 |
| 6 : PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS DE LAS ALEACIONES RESISTENTES AL CALOR | 189 |
| 7 : TABLAS DE CONVERSION DE TEMPERATURAS A MILIVOLTIOS PARA TERMOCUPLAS TIPO K | 191 |
| 8 : CURVA DE CALIBRACION DEL HORNO | 194 |
| ANEXO B: DIBUJOS TECNICOS - MECANICOS | |
| B-1 : LISTA DE PIEZAS | 196 |
| B-2 : DIBUJOS | 197 |
| GLOSARIO DE TERMINOS | |

INTRODUCCION.

En el País, con el desarrollo industrial y la liberalización de la economía, resulta necesario contar con el recurso humano técnico - científico para hacer frente a las necesidades y retos que ésta plantea en los actuales niveles de competitividad.

Actualmente la Universidad de El Salvador, en la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, específicamente la Escuela de Ingeniería Mecánica se encuentra desarrollando proyectos y trabajos prácticos en los que se apliquen de manera práctica los conocimientos adquiridos durante el desarrollo de la carrera como parte de la formación del estudiante y futuro profesional.

Dadas las circunstancias anteriores y el desarrollo cada vez mayor de la industria salvadoreña en el campo de los tratamientos térmicos, se plantea la necesidad de avanzar en esa dirección.

Esto requiere de una actualización y especialización en lo que son los tratamientos térmicos, así como el diseño y construcción del equipo idóneo.

Es así como se da paso a la realización del presente Trabajo de Graduación titulado: "Diseño y Construcción de un Horno Eléctrico para Efectuar Laboratorios de Tratamientos Térmicos", que además de cumplir con los requerimientos

anteriores, se provee a la Escuela de Ingeniería Mecánica de un Horno eficiente e idóneo para realizar prácticas de Tratamientos Térmicos.

El trabajo incluye además del horno construido un trabajo bibliográfico donde se da una fundamentación teórica, diseño y secuencia de la construcción. Básicamente el trabajo bibliográfico está dividido en cinco capítulos.

En el Primer Capítulo denominado: "Marco Teórico", se incluyen los conceptos y principales tratamientos térmicos, así como los hornos usados para tal fin.

En el Segundo Capítulo se describen los materiales refractarios, llegándose a seleccionar el tipo a utilizar en la construcción del horno.

También se dimensiona la cámara y el exterior del horno, seguidamente se fija la temperatura de diseño, haciendo después un análisis de transferencia de calor.

Es importante también seleccionar el tipo de resistencia y el control de temperatura dando para ello una breve descripción de los tipos que existen.

El Tercer Capítulo constituye el Diseño del Horno, dimensionando todas las partes de las que está formado: Armazón metálica, estructura de ladrillo, diagrama eléctrico, etc.

Siguiendo una secuencia lógica se describe el proceso de fabricación en el Cuarto Capítulo indicando cada operación para llegar a su construcción final.

Acá se especifica la cantidad y tipo de material utilizado, llegándose al final del capítulo a un costo monetario aproximado del horno construido.

El Quinto Capítulo es exclusivamente de datos experimentales del horno, guías de laboratorio y costo económico de ensayos de tratamientos térmicos y pruebas metalográficas.

Al final del texto se ubican los anexos y un glosario de los términos técnicos empleados.

OBJETIVOS.**OBJETIVO GENERAL.**

Aplicar los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera en el Diseño y Construcción de un Horno Eléctrico para Efectuar Laboratorios de Tratamientos térmicos.

OBJETIVOS ESPECIFICOS.

- 1.- Efectuar el análisis y diseño con base a los requerimientos de laboratorio.
- 2.- Construir un modelo que sea funcional y económico.
- 3.- Efectuar pruebas para determinación de parámetros de funcionamiento del horno de resistencia eléctrica.
- 4.- Evaluar el comportamiento del horno a fin de sugerir recomendaciones para mejorar su funcionamiento.

CAPITULO I

MARCO TEORICO

1.1 TRATAMIENTOS TERMICOS. GENERALIDADES.

Se define al tratamiento térmico del acero como: "Una combinación de operaciones de calentamiento y enfriamiento de tiempos determinados y aplicados a un metal o aleación en el estado sólido en una forma tal que producirá las propiedades deseadas".

De lo anterior se deduce que el tiempo y la temperatura son los factores principales que hay que fijar siempre de antemano, de acuerdo con la composición, el tamaño de las piezas y las características que se desean obtener.

1.1.1 PRINCIPALES TRATAMIENTOS TERMICOS

Los tratamientos térmicos más utilizados son: el recocido, normalizado, temple, revenido y los tratamientos térmicos superficiales tales como: La cementación, nitruración, etc.

1.1.1.1 Recocido o Recocido Total

El recocido es un proceso en el cual hay un calentamiento de un acero hasta una temperatura adecuada, ya establecida durante un tiempo determinado, prosiguiendo después a un enfriamiento lento, de preferencia en el horno.

Para los aceros la temperatura de recocido total es aproximadamente 27°C por encima de la línea A_{c3} y $A_{c3,1}$, como se muestra en la fig.1.1

Entre los propósitos del recocido total están: Refinar el grano, proporcionar suavidad en el maquinado y eliminar tensiones residuales. Existen otros tipos de recocido tales como: recocido de esferoidización, recocido para eliminación de esfuerzos y recocidos de proceso.

El recocido por esferoidización es un tratamiento térmico que mejora la maquinabilidad, especialmente para los aceros hipereutectoides (aceros con contenido de carbono mayores a 0.8%). Este proceso se puede lograr por los métodos siguientes:

- 1- Mantener por un tiempo prolongado a una temperatura justamente por debajo de la línea crítica inferior.
- 2- Calentar y enfriar alternadamente entre las temperaturas que están justamente por encima o por debajo de la línea crítica inferior.
- 3- Calentar a una temperatura por encima de la línea crítica inferior y luego enfriar muy lentamente en el horno.

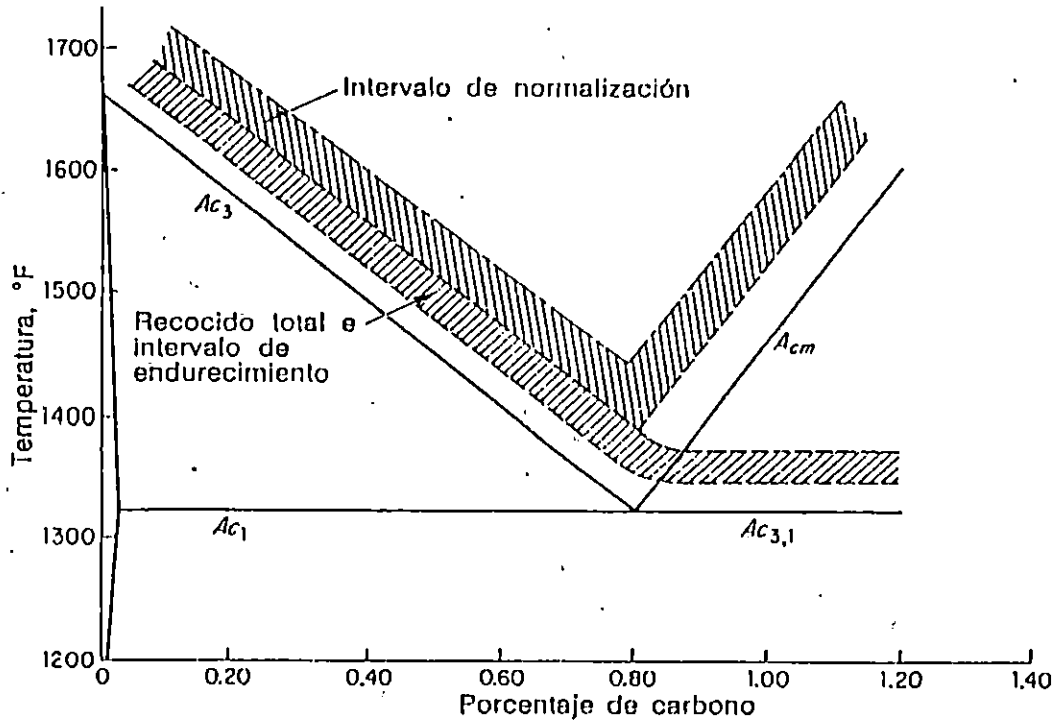
Mantener el acero durante un tiempo prolongado a elevada temperatura despedazará completamente la estructura perlítica

y la red de cementita. La cementita se convierte en esferas.

La estructura esferoidizada resultante es deseable cuando es importante una dureza mínima y una máxima maquinabilidad en aceros al alto carbono.

El recocido para eliminación de esfuerzos en los aceros es un proceso útil para eliminar esfuerzos residuales debido a un fuerte maquinado u otros procesos de trabajo en frío. Generalmente se lleva a cabo a temperaturas por debajo de la línea crítica inferior (540 °C a 650°C).

El recocido de proceso es un tratamiento térmico que se utiliza en las industrias de la lámina y alambre, llevándose a cabo al calentar el acero a una temperatura por debajo de la línea crítica inferior (540 - 675°C). Se aplica después del trabajo en frío y suaviza el acero; es muy parecido al recocido por eliminación de esfuerzos.



- A_{c3} : Línea crítica superior del lado hipoeutectoide de los aceros
 A_{c1} : Línea crítica inferior del lado hipoeutectoide de los aceros
 A_{cm} : Línea crítica superior del lado hipereutectoide de los aceros
 $A_{c3,1}$: Línea crítica inferior del lado hipereutectoide de los aceros del diagrama hierro-carburo de hierro.

Fig. 1.1 Intervalo de austenización para el recocido, normalizado y temple de los aceros al carbono (ref.1, cap.8).

1.1.1.2 Normalizado

El normalizado consiste en calentar el acero a una temperatura aproximadamente 56°C por encima de la línea crítica superior A_{c3} , A_{cm} (ver fig. 1.1), luego se enfría en

aire quieto hasta la temperatura ambiente.

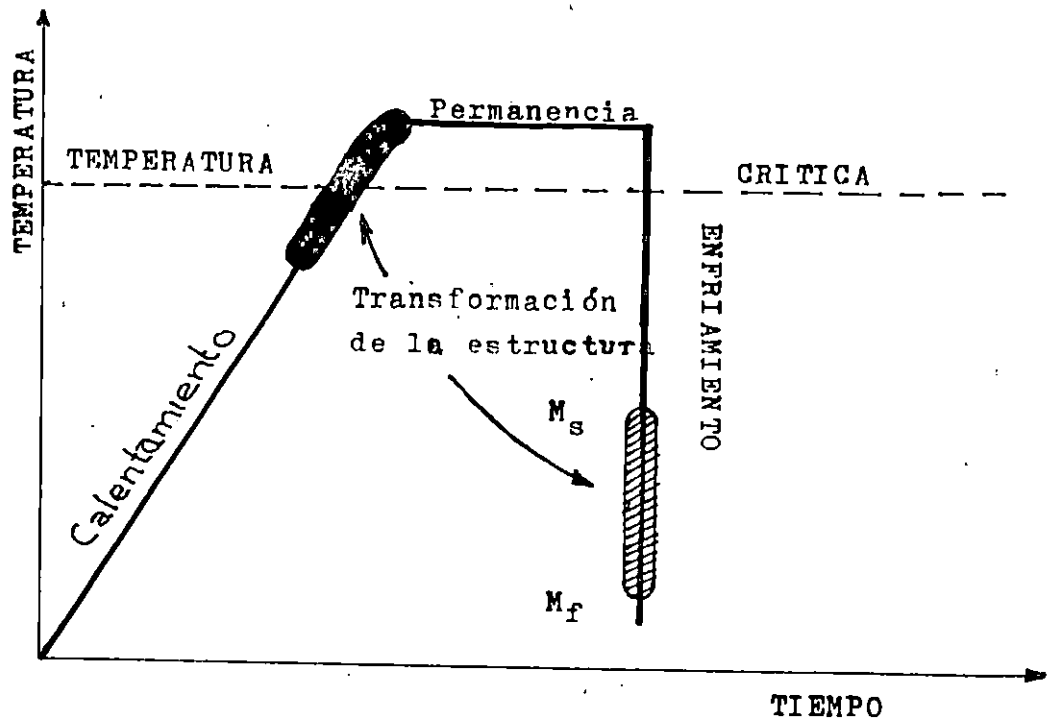
El propósito del normalizado es producir un acero más duro y más fuerte que el obtenido por recocido. En la tabla 1.1 se puede observar las características de los aceros, recocidos y normalizados.

Tabla 1.1 Propiedades mecánicas de aceros normalizados y recocidos. (ref. 1, cap. 8)

| CARBONO, PORCENTAJE | PUNTO DE CEDENCIA 1000 LB/PULG ² | RESISTENCIA TENSIL, 1000 LB/PULG ² | ELONGACION, PORCENTAJE EN 2 PULG | REDUCCION EN AREA % | BHN |
|---|---|---|--|------------------------|-----|
| Normalizado (acero laminado en caliente) | | | | | |
| 0.01 | 26 | 45 | 45 | 71 | 90 |
| 0.20 | 45 | 64 | 35 | 60 | 120 |
| 0.40 | 51 | 87 | 27 | 43 | 165 |
| 0.60 | 60 | 109 | 19 | 28 | 220 |
| 0.80 | 70 | 134 | 13 | 18 | 260 |
| 1.00 | 100 | 152 | 7 | 11 | 295 |
| 1.20 | 100 | 153 | 3 | 6 | 315 |
| 1.40 | 96 | 148 | 1 | 3 | 300 |
| Recocido | | | | | |
| 0.01 | 18 | 41 | 47 | 71 | 90 |
| 0.20 | 36 | 59 | 37 | 64 | 115 |
| 0.40 | 44 | 75 | 30 | 48 | 145 |
| 0.60 | 49 | 96 | 23 | 33 | 190 |
| 0.80 | 52 | 115 | 15 | 22 | 220 |
| 1.00 | 52 | 108 | 22 | 26 | 195 |
| 1.20 | 51 | 102 | 24 | 39 | 200 |
| 1.40 | 50 | 99 | 19 | 25 | 215 |

1.1.1.3 Temple

Templar significa austenizar por encima de determinada temperatura crítica -para los aceros hipoeutectoides 27°C por encima de la línea A_{c3} (ver fig. 1.1) y para los aceros hipereutectoides la región entre la línea crítica inferior $A_{c3.1}$ y la línea crítica superior A_{cm} - luego se mantiene un tiempo determinado y se enfría rápidamente, (ver fig. 1.2)



M_s : Temperatura de inicio de formación de martensita
 M_f : Temperatura del final de formación de martensita

Fig. 1.2 Ciclo Térmico del Temple. (Ref. 3, cap. 1)

Con el temple, los aceros adquieren mayor dureza y resistencia pero se hacen más frágiles.

El aumento de la dureza es debido a la formación de una solución sólida sobresaturada llamada martensita; donde el porcentaje de martensita está determinado por el diagrama T.I. (Transformación Isotérmica) y de la rapidez de enfriamiento.

La fig. 1.3 muestra un diagrama T.E. (Transformación-Enfriamiento) para un acero de aleación triple. Este es un acero hipoeutectoide, en el que la zona de perlita está relativamente lejos hacia la derecha y no abarca la región de bainita. De este modo con rapidez de enfriamiento entre 1,150 a 30,000°C/hr (2,100 a 54,000 °F), es posible obtener grandes cantidades de bainita en la microestructura, se puede notar que la rapidez de enfriamiento tangente a la nariz superior que es de 1,150°C/hr (2,100 °F/hr) no es la crítica de enfriamiento. La rapidez de enfriamiento tangente a la "nariz inferior" o "rodilla" del diagrama, 30000°C/hr (54,000 °F), tendría que excederse para formar martensita.

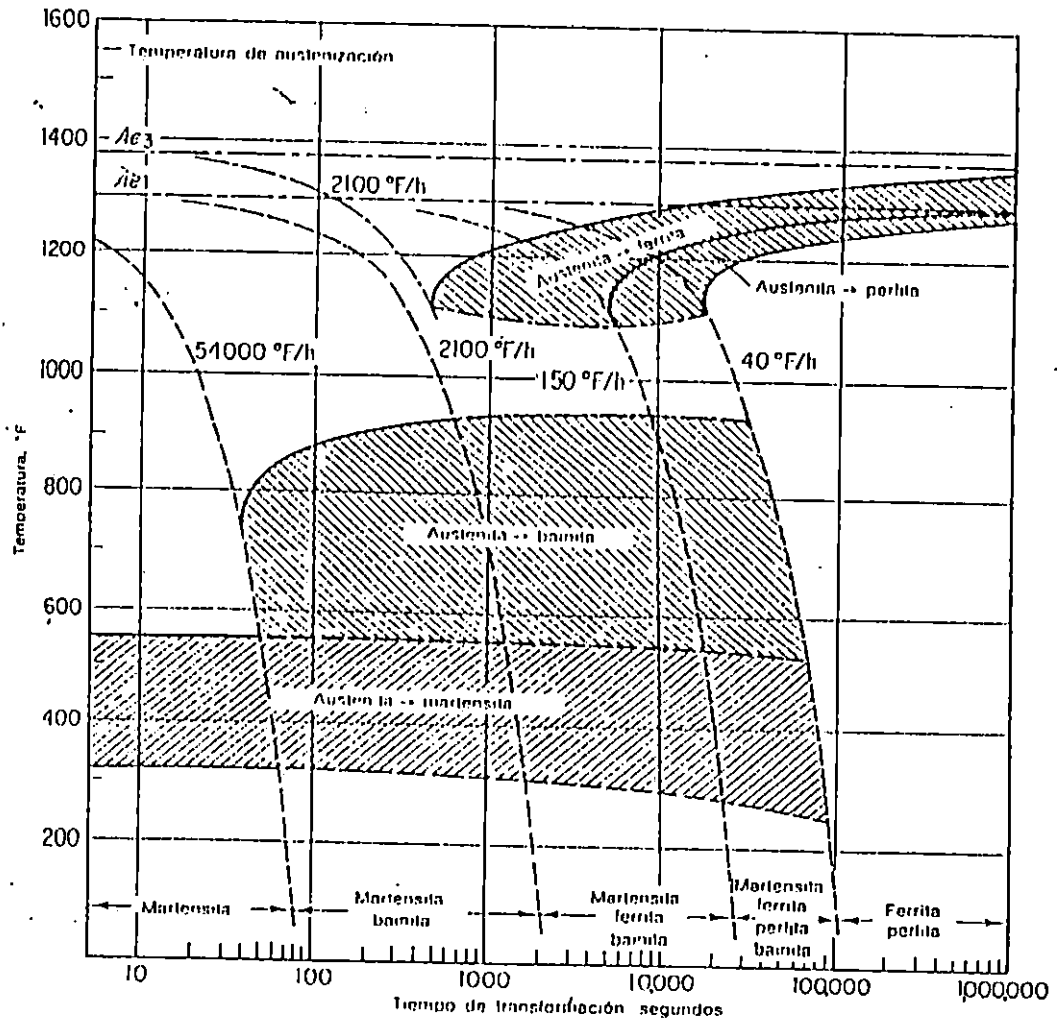


Fig. 1.3 Diagrama T.E. de un acero de triple aleación (4340): 0.42% de carbono, 0.78% de manganeso, 1.79% de níquel, 0.80% de cromo, 0.33% de molibdeno. (Ref. 1, cap. 8)

1.1.1.4 Revenido

El revenido consiste en calentar el acero -previamente templado- a temperaturas inferiores a la crítica A_{c1} (723°C),

mantenerlo un tiempo adecuado y luego enfriarlo a temperatura ambiente.

El propósito del revenido es liberar los esfuerzos residuales y mejorar la ductilidad y tenacidad del acero, Este aumento de ductilidad generalmente se obtiene a costa de la dureza o de la resistencia.

En el revenido se transforma parte de la estructura martensítica en otras que involucran un cambio importante de las propiedades mecánicas; comprende dos etapas bien definidas:

- La primera, abajo de los 204°C , si el principal requisito es la dureza o resistencia al desgaste.
- La segunda arriba de los 204°C , si lo que se quiere es un aumento en la tenacidad y poca dureza.

En la fig. 1.4, se muestran los diferentes productos de transformación de la austenita y de la martensita para un acero eutectoide, así como su temperatura crítica de enfriamiento.

En general, para los tratamientos de recocido, temple, revenido y normalizado, el tiempo de permanencia a la respectiva temperatura de tratamiento térmico oscila entre media hora y una hora por pulgada de espesor.

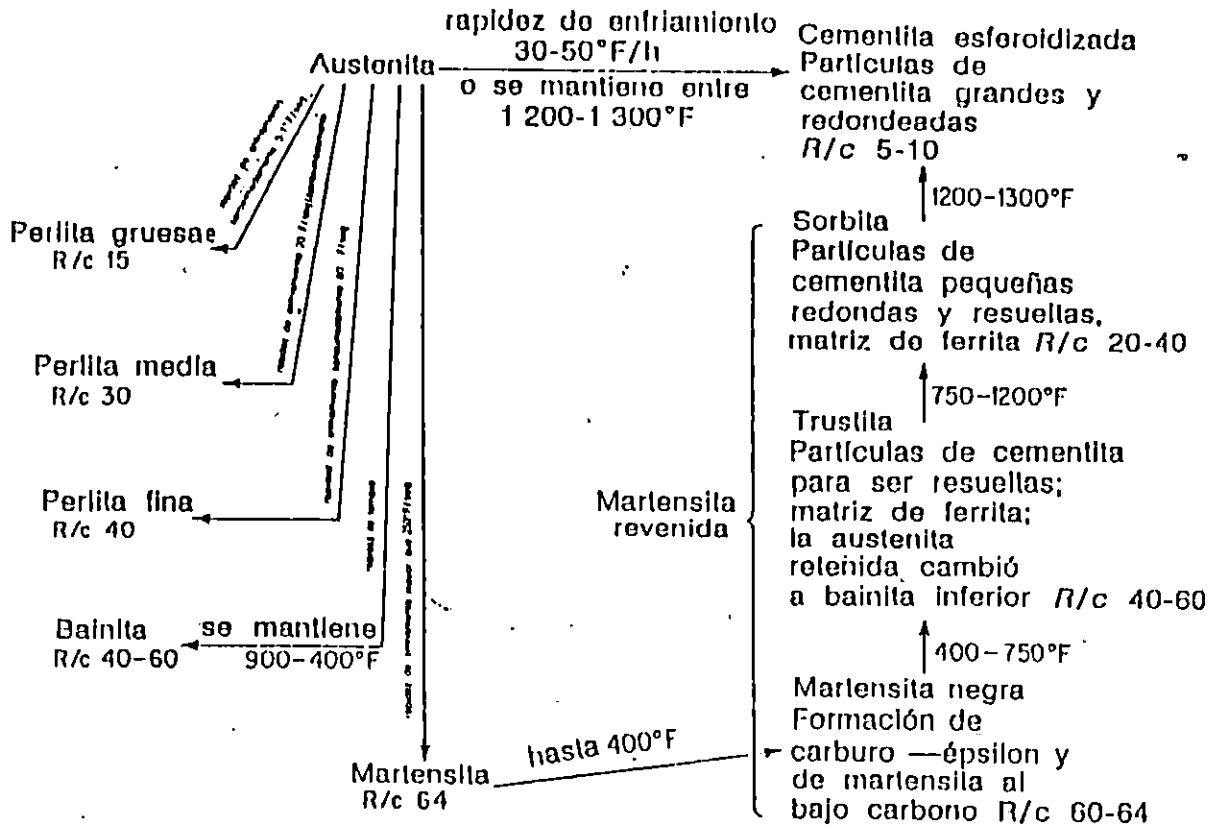


Fig. 1.4. Productos de transformación de austenita y martensita para un acero eutectoide.

1.1.1.5 Tratamientos Térmicos Superficiales o Endurecido Superficial.

Numerosas aplicaciones industriales requieren una superficie dura resistente al desgaste, llamada capa o región

superficial, y un núcleo relativamente suave y tenaz en su interior, llamado parte interna. Hay cinco métodos principales de tratamientos térmicos superficiales (ref. 1 cap. 8):

1. Carburización
2. Nitruración
3. Cianuración o Carbonitruración
4. Endurecimiento por flama
5. Endurecimiento por inducción.

Los tres primeros métodos cambian la composición química por lo que se usan usualmente aceros de bajo contenido de carbono (de 0.20% de C o menos).

Los dos últimos métodos no cambian la composición química y son esencialmente métodos de endurecimiento poco profundo. El carbono debe ser capaz de endurecerse; por lo tanto, el contenido de carbono debe ser de 0.30% en peso o mayor.

Los métodos de endurecimiento superficial que tienen mayor aplicación industrial son los que cambian la composición química, por lo que se definirán brevemente.

La carburización o cementación consiste en el calentamiento del acero hasta que alcance el color rojo

(600°C: rojo oscuro, 870°C: rojo ligero o claro), estando en contacto con sustancias con algún contenido de carbono que puede ser sólido, líquido o gaseoso.

Al dar a la pieza el temple, ésta adquiere dureza, superficial por el alto contenido de carbono del medio, permaneciendo las porciones interiores maleables y blandas.

El nitrurado, es un proceso en el que se usan aceros especiales, que pueden formar nitruros. Las piezas se calientan hasta una temperatura alrededor de 500 a 600°C, esto es realizado en un recipiente cerrado dentro del cual se introduce gas amoníaco. El gas se disocia en nitrógeno e hidrógeno. El nitrógeno se combina con el hierro y los otros elementos para formar compuestos nitrurados en el acero. La vaina resultante es extremadamente dura, pero muy delgada, usualmente menor que 0.64 mm.

Una ventaja es que el proceso requiere temperaturas de solamente 482°C a 538°C, experimentando poca dificultad con la distorsión del material. La nitruración se acompaña siempre con un incremento en el tamaño de la pieza, la cual debe preverse.

El cianurado es un proceso que combina la absorción de carbono y nitrógeno, para obtener dureza en la superficie en

los aceros de bajo carbono que no responden al tratamiento térmico ordinario. Al realizar el proceso, las partes se sumergen en un baño de cianuro de sodio a una temperatura entre 704 y 871°C, de 30 minutos ó 4 a 5 horas, luego se enfría en agua o en aceite para obtener una superficie dura. Este proceso es usado para espesores de la capa de 0.13 a 0.50 mm.

En el anexo 1 se muestra el diagrama práctico hierro-carburo de hierro, donde aparecen los principales tratamientos térmicos.

En el anexo 2 aparecen las especificaciones del acero AISI 1045, así como instrucciones para el tratamiento térmico de interés. Todos estos datos los proporciona el fabricante en los certificados de calidad de cada acero.

1.2 GENERALIDADES SOBRE HORNOS PARA TRATAMIENTOS TERMICOS.

Los criterios para clasificar los hornos para tratamientos térmicos pueden variar de acuerdo a los siguientes aspectos:

- a) Debido a la finalidad del horno (fundición, calentamiento.)
- b) Por el combustible usado (electricidad, gas, coque.)
- c) Por la forma del horno (crisol, túnel.)
- d) Por la forma de cargar el horno (continuo, discontinuo.)

Ninguno de éstos se puede considerar como un sistema de clasificación definitivo, ya que existen modelos que no se pueden incluir en ninguno de ellos.

Los hornos para tratamientos térmicos se pueden clasificar de acuerdo a criterios tales como: Tipo de operación, atmósfera, fuente de generación de calor, etc. Con base a estos criterios se han agrupado algunos de ellos según la siguiente clasificación:

- 1- Hornos de control manual
- 2- Hornos de atmósfera controlada

- 3- Hornos de baño líquido
- 4- Calentadores de flama
- 5- Hornos de tratamiento térmico al vacío.

A continuación, se describen los tipos de hornos que pertenecen a la última de las clasificaciones mencionadas.

1.2.1 Hornos de Control Manual

Estos hornos son capaces de producir ya sea atmósfera oxidante o reductora por medio del control de la relación aire-combustible en los hornos que emplean combustible, o por cortinas de gas en los hornos eléctricos. Las atmósferas son controladas manualmente por el operador. El contenido de humedad en estos hornos de atmósferas reductoras no puede ser controlado. Entre estos hornos se tienen los siguientes:

1.2.1.1 Fraguas

La cámara se caracteriza por ser un lugar abierto que puede usar carbón vegetal, mineral o coque para lograr el calentamiento, necesitando aire para la combustión el cual es suministrado por un elemento mecánico.

1.2.1.2 Horno de Cámara

Consiste esencialmente en un horno cubierto con material refractario que contiene un solo compartimiento donde operan los quemadores (Fig. 1.6).

Obviamente, tanto la temperatura como la atmósfera, pueden tener grandes variaciones dentro del horno, dependiendo de si la pieza de acero está en el paso de la llama o a un lado de ella.

1.2.1.3 Horno de Mufla

En este horno hay una cámara interior cerrada llamada mufla donde va la carga y una cámara de combustión, separadas entre sí como se ve en la fig. 1.7. Los gases de combustión no deben entrar en la cámara, por lo que la pieza de acero está rodeada de aire ambiente a menos que se modifique la atmósfera. En esta forma de construcción hay una máxima economía de combustible en la cámara de combustión.

1.2.1.4 Horno de Semimufla

En este tipo de horno hay una solera o teja refractaria soportada por pilares algunas pulgadas por encima del fondo sólido del horno. Esta solera une las paredes delantera y

trasera pero no toca las paredes laterales (fig. 1.8).

El combustible (usualmente gas) se quema bajo la solera, saliendo los productos de la combustión por el espacio entre la solera y las paredes laterales y ventilándose por medio de agujeros en el techo. En este horno, la atmósfera que rodea la pieza de acero consiste en productos de la combustión, pero las piezas de acero no están en el camino de la llama.

1.2.2 Hornos de Atmósfera Controlada

En estos hornos se genera una atmósfera reductora protectora fuera del horno, y se introduce en la mufla. La composición de la atmósfera, incluyendo el contenido de humedad se controla por instrumentos, algunos de los cuales son automáticos. Todos estos hornos son de mufla y pueden ser calentados por gas, resistencia eléctrica o con tubo radiante.

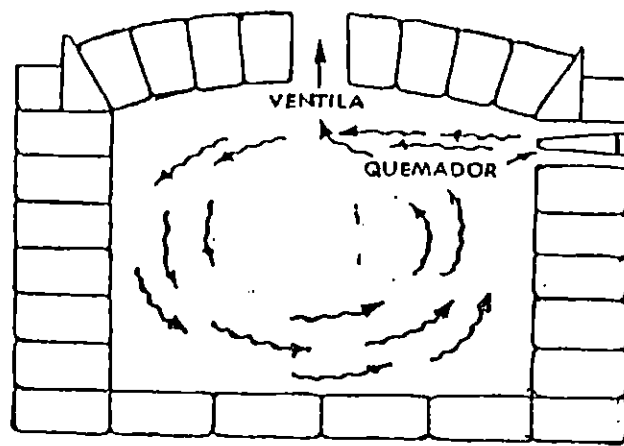


FIG. 1-6 HORNO DE CAMARA (Ref. 7)

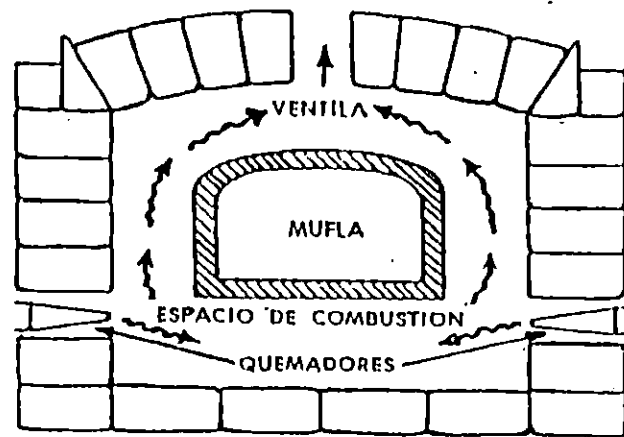


FIG. 1-7 HORNO DE MUFLA (Ref. 7)

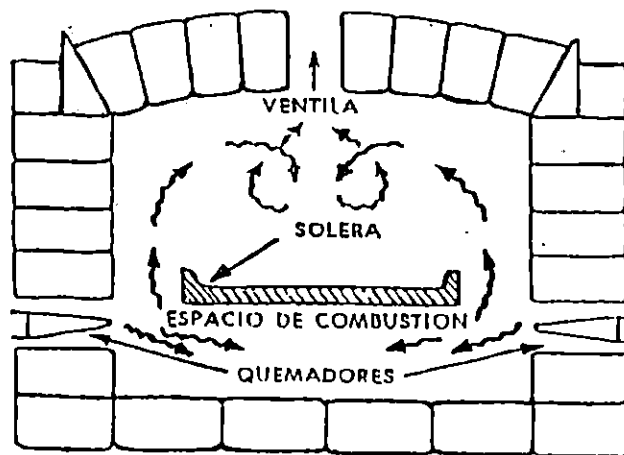


FIG. 1-8 HORNO DE SEMIMUFLA (Ref. 7)

1.2.3 Hornos de Baño Líquido

Los hornos de baño líquido consisten de un horno de forma cilíndrica y de un crisol. El horno está forrado con material refractario en el que se suspende un crisol de metal o de cerámica que contiene la sal o el metal fundido. Se puede calentar con petróleo, gas o electricidad. En este último caso, se puede hacer por medio de resistores o electrodos. A continuación se describen los diferentes tipos de baño líquido.

1.2.3.1 Baño de Plomo

Este baño se coloca usualmente en un recipiente de fundición o un crisol de metal estampado. Posee un intervalo de temperatura de 400°C a 871°C. Debe disponerse de cierto margen para evitar que se solidifique sobre las herramientas. La máxima temperatura está limitada por la volatilización (evaporación) del baño y la vida del crisol, ya que éstos se rompen o queman por la acción del tiempo. Los vapores de plomo son venenosos y los crisoles deberán estar provistos de una chimenea de ventilación. Los baños de plomo están siendo desplazados por los baños de sal en la mayoría de los casos.

1.2.3.2 Baños de Sales

Los baños de sal pueden dividirse en dos clases, dependiendo del tipo de sal utilizada.

a) SALES NEUTRAS: Estas son usadas para calentar la pieza sin carburar o descarburar la superficie. El propósito del baño neutro es calentar la pieza de trabajo de la misma manera que el plomo fundido sin provocar efectos químicos. Se puede usar una mezcla de cloruro de calcio y cloruro de sodio, dentro de un intervalo de temperatura de 538 a 871°C.

b) SALES ACTIVAS: Estas son de poca importancia en el tratamiento de la pieza de trabajo, generalmente contienen una sal con las propiedades del cianuro y se emplean para dar una capa delgada de carbono y nitrógeno de la superficie del acero. Se utiliza para revenir piezas de acero de alta velocidad a una temperatura alrededor de 566°C.

1.2.4 Calentador de Flama

El proceso de endurecimiento por llama, está basado en el rápido calentamiento y enfriamiento de las superficies que trabajan sometidas al desgaste.

El calentamiento se realiza por medio de una llama de

oxiacetileno, la cual se aplica durante bastante tiempo para calentar la superficie por arriba de la temperatura crítica del acero.

La profundidad de la cubierta es una función del tiempo, de calentamiento y de la temperatura de la llama.

1.2.5 Hornos de Tratamiento Térmico al Vacío

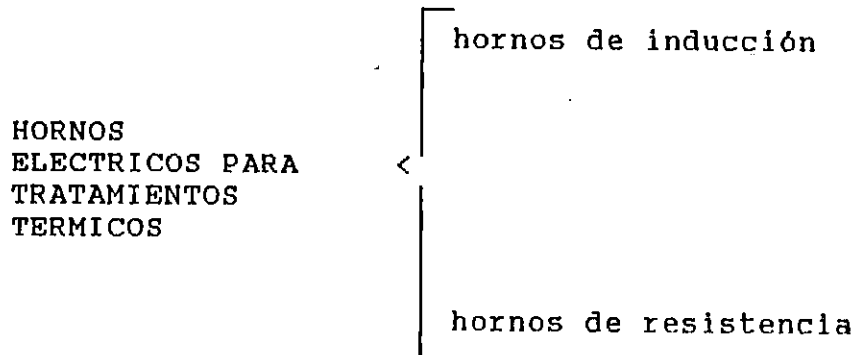
Para evitar cambios en la composición química de la superficie del acero, la mejor atmósfera para tratamiento térmico es aquella que no existe, en otras palabras, el vacío. Es decir, ausencia total de cualquier sustancia de forma que no pueda haber interacción química con las superficies de la pieza.

Los hornos de vacío son costosos, debido al sistema de bombeo que se requiere para alcanzar el nivel apropiado de vacío y las materias primas que se necesitan.

1.3 HORNOS ELECTRICOS. CLASIFICACION.

Este tipo de hornos se caracterizan por la transformación de la energía eléctrica en energía calorífica, calor generado por el efecto Joule, al pasar la corriente eléctrica por un alambre en virtud de la resistencia al paso de la corriente eléctrica, ésta se calienta llegando a ponerse incandescente, ya sea por una diferencia de voltaje en los extremos del alambre (hornos de resistencia), o desarrollando una corriente inducida por un campo magnético en un cuerpo conductor (hornos de inducción).

De lo anterior, los hornos eléctricos se clasifican según el siguiente esquema:



Es importante, antes de describir cada horno, mencionar cuáles son las características que presenta el horno al usar la electricidad como fuente de calor:

1. Precisión en el control de la generación del calor y de su distribución.
2. El calor generado es independiente de la naturaleza de los gases que rodean la carga.
3. La temperatura máxima sólo es limitada por la naturaleza de la pieza, del material a ser tratado y del material de la resistencia eléctrica.

Una de las desventajas es que la electricidad es la forma más costosa de energía entre las disponibles, sin embargo, se utiliza ampliamente debido a su facilidad de control y su limpieza. La electricidad posee ventajas así como limitaciones, las cuales se enumeran a continuación:

Ventajas:

1. El control de temperatura, tanto en forma manual como automática es más preciso de lo que resulta con el petróleo o el gas.
2. Se presta más fácilmente al control automático.
3. No hay productos de la combustión que resulte necesario eliminar, y tampoco se produce contaminación del ambiente de trabajo.
4. El mantenimiento es insignificante comparado con el mantenimiento de los controles de los hornos que utilizan el gas y el petróleo como elemento calefactor.
5. Aun cuando es más costoso que el petróleo y el gas, puede utilizarse en forma más eficiente especialmente

donde se requiere control atmosférico.

6. Se presta a las aplicaciones que requieren baja temperatura, tales como el revenido.

Limitaciones:

1. Costo elevado -aun cuando este inconveniente se compensa en cierta medida por el empleo más eficiente y la reducción en costos de mantenimiento en relación con el gas y el petróleo-.
2. Disponibilidad limitada por la capacidad de la red de suministro local.
3. Las temperaturas del horno deberán ser limitadas hasta aproximadamente 1000°C, para obtener una vida razonable de los elementos calefactores.

Después de presentar lo ventajoso que resulta usar la electricidad para producir calor, se describen los hornos eléctricos dados en la clasificación anterior.

1.3.1 Hornos de Inducción

Los hornos eléctricos de inducción utilizados en gran escala en la metalurgia, son en realidad verdaderos transformadores. El circuito de alto voltaje se acopla con el de bajo voltaje, sin conectar directamente ambos circuitos. El elemento responsable de este efecto de acoplamiento es el

campo magnético, que permite que el calor sea transferido sin contacto directo. Mediante la correcta disposición del arrollamiento de alto voltaje, que en el caso del horno de inducción sería una bobina de inducción o un inductor, el campo magnético se dirige al metal que va a ser calentado o fundido para que absorba energía. Estos hornos generalmente son utilizados para fundir aleaciones refractarias (de alta temperatura) y para el endurecimiento superficial de algunos aceros.

Al utilizar este tipo de horno para el endurecimiento de piezas, se aprovecha el calentamiento localizado (fenómeno piel en alta frecuencia) producto de las corrientes inducidas en el metal bajo la acción de un campo magnético cambiante.

Este sistema de calentamiento, se asemeja a un transformador formado por la bobina de trabajo o primario constituido por varias vueltas de tubería de cobre, enfriadas por agua; y el secundario constituido por la pieza de trabajo. En las figuras 1.8a a 1.8e se muestran los diseños básicos de las bobinas de trabajo para emplearlas con unidades de alta frecuencia, según los efectos producidos en la pieza tratada. Estas formas básicas son:

a) un solenoide simple para calentamiento externo,

- b) una bobina para utilizarla internamente en el calentamiento de diámetros interiores,
- c) una bobina del tipo "plato para pastel"; diseñada con el fin de proporcionar altas densidades de corriente en una banda angosta, para aplicaciones en las que es necesario recorrer la superficie a lo largo de una línea.
- d) una bobina de una sola vuelta para recorrer a lo largo una superficie giratoria, con un aditamento que ayudará a calentar el chaflán, y
- e) una bobina tipo "torta" para calentamiento localizado en un punto específico.

En todos estos tipos de arrollamientos existe una corriente alterna de alta frecuencia que pasa a través de la bobina de trabajo o primario, formando un campo magnético de alta frecuencia, el cual induce corrientes parásitas de alta frecuencia y corrientes de histéresis en el metal, fenómeno que se conoce como efecto piel; por lo tanto, es posible calentar una capa poco profunda del acero sin calentar el interior.

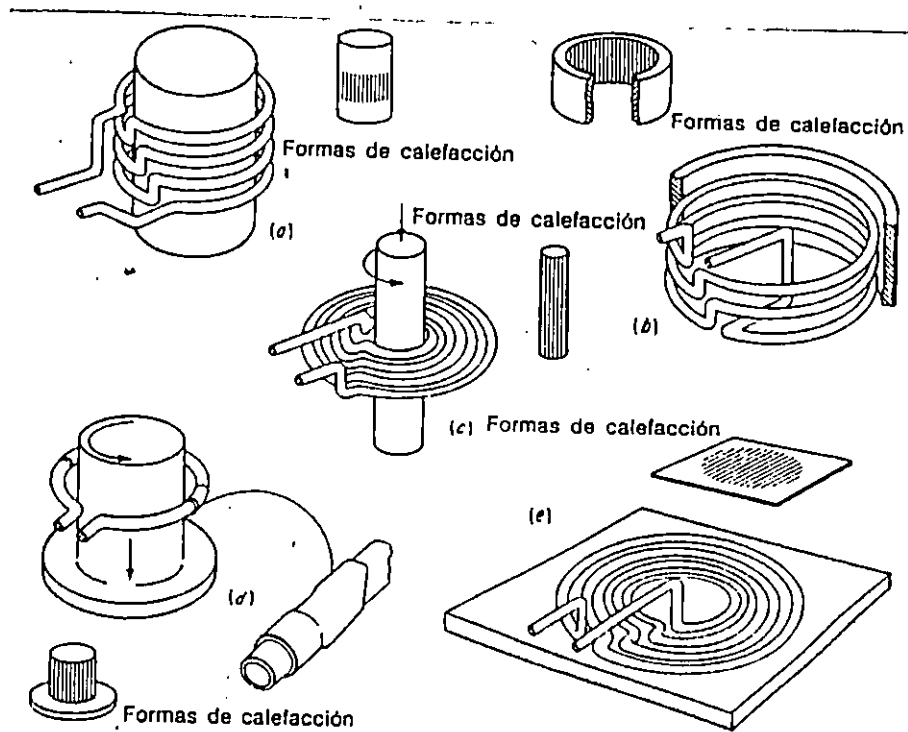


Fig. 1.8a - 1.8e. Arrollamiento para unidades de alta frecuencia y los modelos calóricos obtenidos por cada una.
Ref.1.

1.3.1.1 Hornos de Inducción sin Núcleo

Un horno de inducción sin núcleo, consta de las siguientes partes: un crisol, una bobina de cobre y un bastidor apoyado sobre soportes.

El principio de funcionamiento de este tipo de hornos es el siguiente:

La superficie lateral de la carga es expuesta a un flujo magnético alterno. Las corrientes así inducidas en la carga circulan completamente dentro de la masa. El calentamiento por inducción también es llamado "calentamiento por corrientes parásitas".

Una característica que presenta dicho calentamiento es la ausencia de aislamiento térmico; esto implica que la carga es calentada al aire libre o con una atmósfera artificial si el recinto es cerrado.

1.3.1.2 Hornos de Inducción con Núcleo

Se excita el transformador para conformar el diseño típico de un transformador con núcleo de hierro y capas de alambre que actúan como un circuito primario. El canal de metal fundido actúa como anillo de cortocircuito alrededor del transformador en la cámara de fusión.

De acuerdo con la capacidad de fusión deseada, uno, dos o tres transformadores pueden incluirse en el envoltorio del horno. En todo tiempo, el canal debe contener suficiente metal, para mantener el cortocircuito alrededor del núcleo del transformador.

La salida de metal fundido se controla variando el voltaje suministrado a los inductores mediante un

transformador de voltaje variable conectado al cortocircuito primario de suministro.

1.3.2 Hornos de Resistencia

La construcción de esta clase de hornos es relativamente simple. Por lo general, se trata de hornos de resistencia a base de grafito o de aleaciones especiales, comúnmente 2nicromo (Níquel y Cromo). Consta esencialmente de una armazón de acero o de hierro colado convenientemente reforzada, provista de un revestimiento refractario.

Al hablar de estos hornos, es necesario conocer algunas partes básicas de los mismos tales como: La cámara de calentamiento y resistencias; así como definir el concepto de atmósferas.

LA CAMARA DE CALENTAMIENTO:

Es un recinto cerrado con revestimiento refractario, una capa circundante de aislamiento térmico y una envolvente exterior de plancha de acero. Ordinariamente se emplea ladrillo refractario aislante o un material semirefractario para el revestimiento interior de la cámara de calentamiento. La temperatura máxima de la carga interna de la capa de aislamiento térmico determina el carácter del material requerido para el aislamiento.

ATMOSFERAS:

Una mezcla de aire y los gases desprendidos de la carga constituyen una atmósfera natural en la cámara de un horno de resistencia.

La composición de tal atmósfera es variable durante un ciclo de calentamiento en un horno intermitente. Las atmósferas naturales se emplean cuando sea conveniente la prolongada acción sobre la carga durante el ciclo de calentamiento. Si esto no es posible, se usará una atmósfera artificial la cual, es constituida eliminando el oxígeno de la cámara de calentamiento.

RESISTENCIAS:

La resistencia de un horno estándar está constituido por un devanado sinuoso (que tiene ondulaciones o recodos) montado sobre las superficies interiores de la cámara de calentamiento. En la práctica, las resistencias son aplicadas sobre la base de 20 a 30 Kw/m² de superficie de pared. La base para situar la resistencia es la radiación a todas las superficies de la carga.

Las resistencias de la mayoría de los hornos estándares se hacen de una aleación compuesta de 80% Ni (Níquel) y 20% de Cr (Cromo), dicha aleación es autoprotectora contra la oxidación, pero esta protección disminuye con la elevación de

la temperatura.

La temperatura de trabajo de una resistencia no debe ser más alta que la necesaria y debe quedar un margen de seguridad por debajo de la temperatura de ablandamiento.

Los hornos pequeños se proyectan ordinariamente para 110V; los medios para 220V y los mayores para 440V. En la práctica general, se usan hornos monofásicos hasta 25 ó 30 Kw y trifásicos para potencias mayores.

CAPITULO II

SELECCION, DIMENSIONAMIENTO
Y ANALISIS

2.1. MATERIALES REFRACTARIOS.

Están definidos de una manera muy general, son aquellos materiales no metálicos, que soportan temperaturas muy elevadas sin fundirse, sin sufrir una deformación excesiva o sin experimentar cambios de composición.

Existen una gran cantidad de requisitos que debe llenar un material refractario para considerarse como tal; pero los más importantes son:

- a - Capacidad para procurar un buen aislamiento térmico.
- b - Trabajar el refractario como un material estructural de alta temperatura.
- c - Servir como soporte del enrollamiento metálico en hornos de resistencia metálica.
- d - Que pueda utilizarse como recipiente para metales líquidos.

Para clasificar los refractarios, conforme a los requisitos antes mencionados, es necesario conocer las siguientes propiedades:

- 1 - Punto de fusión.
- 2 - Conductividad térmica.
- 3 - Resistencia a la fusión a temperaturas elevadas.
- 4 - Coeficiente de expansión térmica.

- 5 - Resistencia al choque térmico.
- 6 - Capacidad de ser químicamente inerte a los metales líquidos y sus entornos.
- 7 - Conductividad eléctrica a temperaturas altas.

Los materiales refractarios son generalmente óxidos de silicio, cromo, aluminio, magnesio, calcio, etc. Además, para clasificarse como tal, deben poseer un punto de fusión arriba de 1500°C.

2.1.1 CLASIFICACION DE LOS REFRACTARIOS DE ACUERDO A SU USO EN LOS LABORATORIOS DE TRATAMIENTOS TERMICOS.

Los materiales refractarios que son usados en los laboratorios de metales, se clasifican de acuerdo a su uso en el mismo:

a) RECIPIENTES:

Fabricación de crisoles inertes al metal que es fundido en él.

b) MATERIALES DE CONSTRUCCION:

Es utilizado como material de construcción para temperaturas elevadas como en hornos de tubo y muflas, en que ellos forman la cámara de calentamiento, soporte de enrollado metálico, soportes de crisol, etc.

c) AISLAMIENTO TERMICO:

Los materiales aislantes tienen mucha importancia en la construcción de hornos, pues evitan pérdidas de calor excesivo y por consiguiente, un consumo de potencia desmedida, siendo posible de esta manera alcanzar temperaturas altas con una geometría dada.

d) CEMENTOS REFRACTARIOS:

Los cementos se utilizan para fijar el enrollamiento metálico sobre los tubos refractarios (núcleos de hornos), para unir ladrillos y otras partes, para formar camisas de hornos monolíticos, para encamisar el interior de hornos de crisol. La mayoría de cementos refractarios se trabajan con poca agua, formando un material pastoso que se apisona en el lugar deseado. Después de secar al aire, endurecen más o menos pero en general quedan fijos o endurecen completamente cuando se exponen a altas temperaturas.

2.1.2 TIPOS Y PROPIEDADES DE ALGUNOS REFRACTARIOS.

a) ALUMINA:

Es el refractario más usado en el laboratorio metalúrgico, ya que se obtiene con una pureza muy alta, punto de fusión elevado y conductividad eléctrica muy baja a temperatura muy elevada, es esta propiedad que unida con alguna de las otras, la que hace que la alúmina sea el

material más empleado en la construcción de tubos de horno y muflas sobre las cuales va el devanado de las resistencias eléctricas metálicas.

Los ladrillos de alto contenido de alúmina se usan generalmente para condiciones severas de temperatura y de carga.

b) SILICE:

Se usa en el laboratorio como una sustancia casi pura en forma de cuarzo fundido o bien como sílice fundida. La sílice fundida no se debe usar a temperaturas superiores a 1100°C y si se utiliza debe hacerse sólo por periodos cortos.

Entre las principales ventajas de la sílice fundida encontramos algunas como: la impermeabilidad a los gases, buena resistencia mecánica, coeficiente de expansión extraordinariamente bajo, aislamiento eléctrico. La sílice fundida no presenta el problema del choque térmico debido a su coeficiente de expansión bajo; puede ser calentada o enfriada a cualquier velocidad sin rotura.

c) EL GRAFITO:

Es un material de laboratorio extraordinariamente útil, debido a su inactividad química (excepto con oxígeno a altas temperaturas), alto punto de fusión, buena conductividad

eléctrica, conductividad térmica elevada, buena resistencia mecánica, corrosión regular, la cual no es afectada por las temperaturas elevadas y por su buena maquinabilidad.

Su conductividad eléctrica hace posible utilizarlo como elemento calefactor en hornos de temperaturas altas o como electrodo en procesos de depositación.

d) EL CARBURO DE SILICIO (SIC):

Es un material refractario conocido comercialmente como Carbotax, se le añade arcilla como aglutinante; la que mantiene unidas las partículas de carburo de silicio. Este refractario tiene una conductividad térmica más elevada que la mayoría de refractarios.

Sus usos principales se dan en las muflas de hornos eléctricos o de gas en los cuales es importante tener una gran transferencia de calor al interior de la cámara de trabajo o mufla.

También se encuentra en forma de ladrillo, los cuales unidos con un cemento especial, permiten construir grandes paredes en hornos.

e) LADRILLOS REFRACTARIOS AISLANTES:

Son de una clase que contienen arcilla refractaria o

caolín altamente poroso, son ligeros (aproximadamente pesan de 1/2 a 1/6 del peso de los de arcilla refractaria), de baja conductividad térmica, y no obstante, suficiente resistencia a la temperatura para poder ser usados en las caras internas de la pared de un horno, permitiendo así muros delgados de baja conductividad térmica y bajo calor específico, por lo que proporcionan ahorro de combustible y tiempo, al elevarse rápidamente la temperatura del horno. Son particularmente adecuados en la fabricación de hornos experimentales o de laboratorio, ya que pueden ser cortados o maquinados en cualquier forma.

f) OTROS AISLANTES:

Son materiales que poseen una conductibilidad térmica más baja que los ladrillos compactos. Los aislantes no están expuestos en el interior de los hornos por que se aplastan, se funden o sufren otros defectos a altas temperaturas. Los buenos aislantes contienen gran número de burbujas de aire muy pequeños, entre éstos cabe mencionar el silicio celular (tierra de diatomeas), magnesia, materiales fibrosos como: el amianto, lana mineral, lana de escorias, etc.

Se prefiere el ^{de} aislamiento a base de fibras al aislamiento granular, las fibras son a base de amianto o materiales similares.

2.1.3 FORMAS DE REFRACTARIOS DISPONIBLES.

Los refractarios pueden encontrarse en 3 formas principales, éstas son:

1- POLVO

Existen dos usos principales para el polvo suelto en el laboratorio metalúrgico:

- a) Para fabricar crisoles u otras formas.
- b) Para operaciones de aislamiento.

2- FORMAS TERMINADAS

Además de los ladrillos refractarios de varios tipos, existen otras formas terminadas como tubos, rodillos, placas y crisoles.

Los ladrillos refractarios se dividen en 2 tipos:

- a) DENSO: Se usa principalmente a gran escala en hornos industriales y se puede adquirir en una variedad amplia de composiciones.
- b) LIGERO: Posee una gran facilidad de corte en la forma deseada con herramientas simples, posee buenas propiedades de aislamiento, están formados de arcilla quemada o carbón, su temperatura de trabajo está limitada a 1600°C.

En la fabricación de tubos refractarios existen 2 clases principales:

- a) Para núcleos de hornos en hornos de resistencia eléctrica.
- b) Tubos impermeables a los gases del tipo de porcelana.

3- CEMENTOS REFRACTARIOS:

Son aquellos como la alúmina, la magnesia, carburo de silicio y mulita, con adición de agentes ligantes, tales como: el vidrio soluble o la arcilla, permiten al cemento endurecer al secarse al aire o al permanecer a temperaturas moderadas.

2.1.4 SELECCION DE MATERIAL REFRACTARIO.

Para la selección del material refractario más adecuado para un fin dado, es necesario cierta experiencia en la construcción de hornos. Una calidad de ladrillo que cueste el doble que otro tipo de ladrillo, es preferible a éste si tiene duración doble.

Además, un ladrillo que de un servicio más largo reduce los paros de funcionamiento del horno.

En los casos donde hay escoria o existe abrasión, es conveniente un ladrillo de estructura densa. Si las condiciones que producen calentamiento por cambio de

temperatura son importantes, entonces es mejor un ladrillo de estructura más flexible.

Para la escoria de alto contenido de cal, hay que usar un ladrillo de magnesita, cromo o alto contenido de alúmina. Para escoria de ceniza de hulla, los ladrillos densos de arcilla dan buen resultado si la temperatura no es elevada. A temperaturas bien altas con frecuencia se obtienen buenos resultados con un refractario plástico de cromo o de carburo de silicio. Para condiciones severas, se debe recurrir a paredes enfriadas por aire o agua.

Cuando no hay peligro por la acción de la escoria, con frecuencia es más económico usar un refractario aislante, aunque este ladrillo puede costar más por unidad, permite paredes más delgadas, de manera que el costo total de construcción puede no ser mayor que el que se tendría con ladrillo ordinario. En base a todo lo anterior se trabajará con un ladrillo refractario de calidad intermedia, por su contenido de alumina, las características de este ladrillo aparecen en el anexo 3.

2.1.5 ESPESOR DE PARED.

La tendencia moderna en la construcción de hornos es hacer una pared relativamente delgada, anclada y soportada a

intervalos frecuentes por piezas de fundición o de aleaciones resistentes al calor, la cual a su vez es sostenida por una armazón estructural.

La pared puede hacerse de refractarios fuertes respaldados con material aislante o de un refractario aislante.

Las juntas de expansión deben ser instaladas por lo general a 3.28 metros, aunque para estructuras de baja temperatura la separación puede ser mayor. Los techos de los hornos pueden ser de arco o planos.

Debido al tipo de horno que se construirá en el presente trabajo, sabiendo que las dimensiones de éste no son mayores de 0.30 m. por lado, o sea que este horno está diseñado para ser usado en pruebas de laboratorio. La construcción de las paredes se simplifica, ya que no necesita anclajes de ningún tipo. Tampoco necesita juntas de expansión debido a la corta longitud de las paredes del horno.

De acuerdo a los diseños de hornos de resistencia eléctrica y al tamaño de éste, el techo tendrá una forma plana, teniendo un volumen cúbico en el interior del horno.

El espesor de las paredes del horno se construirá utilizando el ancho del ladrillo refractario (114 mm.), este espesor se toma considerando los espesores de las paredes de hornos existentes en la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad de El Salvador, de acuerdo a esto, la configuración de las paredes que tendrá el horno que se construirá se pueden observar en las figuras 2.1 y 2.2

2.2. DIMENSIONAMIENTO DEL HORNO.

Para poder dimensionar todo el horno, es necesario conocer primero las dimensiones más interiores de éste, es decir, la cámara de trabajo de las muestras que vayan a ser tratadas térmicamente.

Partiendo de estas dimensiones, podemos dimensionar progresivamente desde el interior hasta el exterior del horno, o sea, desde la cámara de trabajo, hasta el blindaje metálico que protegerá toda la estructura interior del horno.

2.2.1 DIMENSIONAMIENTO DE LA CAMARA.

Para las dimensiones de la cámara de trabajo, se han tomado las siguientes consideraciones:

- a) La parte frontal (ancho x altura) del volúmen ocupado por la cámara será un cuadrado de 150 mm x 150 mm.
- b) La parte lateral (profundidad) de la cámara será igual a 300 mm.

Estas consideraciones sobre las dimensiones de la cámara, han sido tomadas de acuerdo a las cámaras de trabajo de hornos para tratamientos térmicos de características similares al de este diseño (por ejemplo: potencias próximas a 5 Kw).

De acuerdo a ésto, las dimensiones que tendrá la cámara de trabajo serán:

ANCHO = 150 mm.

ALTURA = 150 mm.

PROFUNDIDAD = 300 mm.

Estas dimensiones se pueden ver en las figuras 2.1 y 2.2, donde dichas longitudes serán definidas por los puntos A y B.

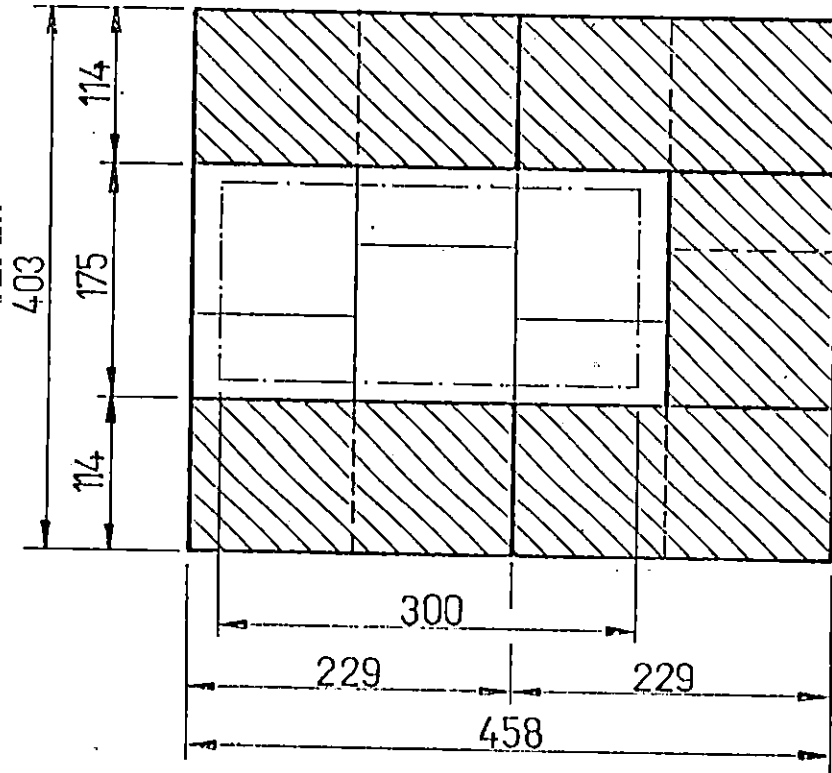


Fig. 2.1. Sección en planta de paredes de la cámara de trabajo del horno.

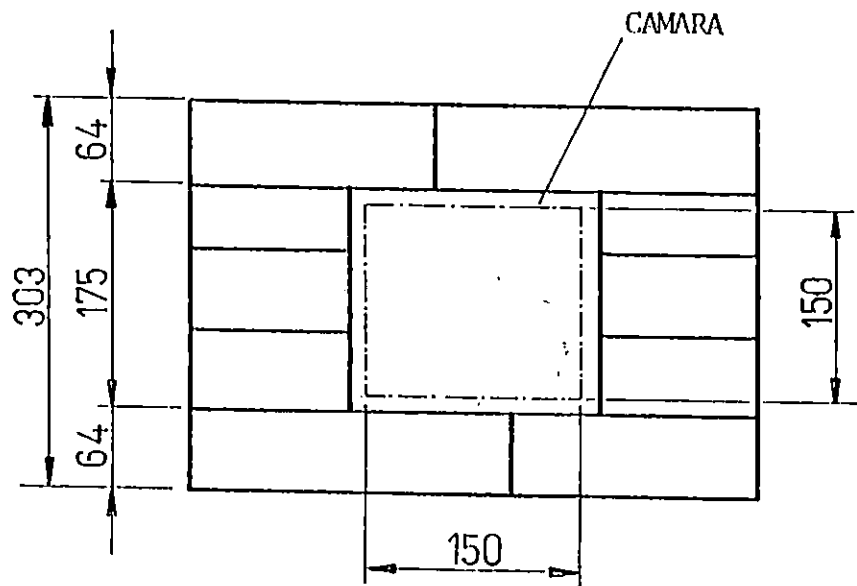


Fig. 2.2. Vista frontal de estructura de ladrillo refractario

2.2.2 DIMENSIONES EXTERIORES DEL HORNO

Para las dimensiones exteriores del horno, se parte de las dimensiones de la cámara, el espesor de pared ya está definido en el punto 2.1.5.

Se considera una separación de 33mm para colocar el aislante entre la pared de ladrillo refractario y la lámina de protección, el aislante que lleva es una colcha de fibra cerámica. Además el espesor de la lámina de protección se considera de 3 mm para efectos de dimensionamiento.

Para las dimensiones del horno se toman los valores siguientes:

| | | |
|-------------------------------------|---|--------------------|
| a) Ancho del conjunto de ladrillos | = | 405 mm. |
| b) Altura del conjunto de ladrillos | = | 301 mm. |
| c) Largo del conjunto de ladrillos | = | 458 mm. |
| d) Ladrillo refractario | = | 64 x 114 x 229 mm. |
| e) Fibra cerámica | = | 33 mm |
| f) Lámina de hierro | = | 3 mm. |

De acuerdo al tamaño de los ladrillos es apropiado un arreglo en el cual no sea necesario cortar ningún ladrillo. En las fig. 2.1 y fig. 2.2 se observan los cortes practicados en los ladrillos para obtener las dimensiones esperadas de la cámara de trabajo y el espacio correspondiente a las tabletas de calentamiento por resistencia eléctricas las cuales

poseen un espesor aproximado de 12.5 mm

Las dimensiones exteriores del horno quedan definidas como sigue:

i) Ancho exterior del horno (suma de espesores):

$$\text{Ancho} = 2(\text{Lámina} + \text{fibra}) + \text{Ancho de ladrillos}$$

$$\text{Ancho} = 2(3 + 33) + 405$$

$$\text{Ancho} = 477 \text{ mm.}$$

ii) Altura del horno (suma de espesores):

$$\text{Altura} = 2 \times \text{Lámina} + \text{fibra superior} + \text{fibra inferior} \\ + \text{altura de ladrillos}$$

$$\text{Altura} = 2 \times 3 + 14 + 13 + 301$$

$$\text{Altura} = 336 \text{ mm.}$$

iii) Largo del horno (suma de espesores):

$$\text{Largo} = 2(\text{Lámina} + \text{fibra}) + \text{profundidad de ladrillos}$$

$$\text{Largo} = 2(3 + 33) + 458$$

$$\text{Largo} = 530 \text{ mm.}$$

Las dimensiones exteriores del horno serán:

$$\text{ANCHO} = 477 \text{ mm.}$$

$$\text{ALTURA} = 336 \text{ mm.}$$

$$\text{PROFUNDIDAD} = 530 \text{ mm.}$$

2.3. SELECCION DE LA TEMPERATURA DE DISEÑO.

En el país existen empresas tales como ACAVISA, ABASTEINSA, ACEROSAL, REDI, etc. que distribuyen aceros en diversas formas, sean éstas cilíndricas, hexagonal, cuadrada, etc.

Normalmente para cada acero, el fabricante proporciona las temperaturas de los respectivos tratamientos térmicos.

En la tabla 2.1 se muestran los tratamientos térmicos más comunes y sus respectivas temperaturas para los diferentes aceros distribuidos por las empresas antes mencionadas.

TABLA 2.1 TEMPERATURAS DE LOS PRINCIPALES TRATAMIENTOS TERMICOS DE ACEROS COMERCIALIZADOS EN EL PAIS.

| ACERO (AISI) | TEMPERATURA DEL TRATAMIENTO TERMICO (°C). | | | |
|-----------------|---|-----------|------------|---------------|
| | NORMALIZADO | RECOCIDO | TEMPLE | BANO DE SALES |
| 1045 | 820 - 870 | 660 - 700 | 820 - 850 | ---- |
| 3115 | ---- | ---- | 780 - 830 | 850 - 900 |
| 4140 | ---- | ---- | 830 - 850 | ---- |
| 4340 | ---- | ---- | 830 - 850 | ---- |
| 0-1 | ---- | ---- | 790 - 850 | ---- |
| D-2 | ---- | ---- | 990 - 1050 | ---- |

La mayor temperatura indicada en la tabla es 1050°C, por lo que se tomará una temperatura máxima de diseño del horno de 1100°C.

2.4 ANALISIS DE TRANSFERENCIA DE CALOR EN ESTADO ESTACIONARIO.

En un horno se dan los tres mecanismos de transferencia de calor que son: Conducción, convección y radiación. El análisis se hará en estado estacionario, es decir, cuando el horno ha alcanzado la temperatura máxima de diseño (1100°C), determinándose las pérdidas de calor a través de una pared compuesta.

2.4.1 TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCION A TRAVES DE UNA PARED PLANA.

La conducción de calor es la transferencia de energía calorífica desde la región de alta temperatura a la de baja temperatura cuando existe un gradiente de temperatura.

Para una pared plana, la transferencia de energía calorífica viene expresada por la ecuación de Fourier:

$$q = - KA \frac{\Delta T}{\Delta X} \quad (2.1)$$

donde:

q : Rapidez de transferencia de calor (kw)

- : Indica que el calor deberá de fluir hacia regiones de menor temperatura.

- k : Conductividad térmica (kw/m°C)

- A : Area de la pared en la dirección del flujo de calor (m²)

- ΔX : Espesor del material en la dirección de q

- $\Delta T/\Delta X$: Gradiente de temperatura

La conductividad térmica de muchos materiales, se encuentran tabulados o en gráficos para diversas temperaturas.

En la tabla 2.2 se muestran conductividades térmicas para diferentes materiales.

En el Anexo N^o 4 y Anexo N^o 5 se incluyen especificaciones de aislantes que resisten altas temperaturas llamadas fibras cerámicas, con sus conductividades térmicas para diferentes temperaturas.

TABLA 2.2 CONDUCTIVIDADES TERMICAS DE ALGUNOS MATERIALES.

(Ref.8)

| MATERIAL | TEMP. °C | * CONDUCTIVIDAD TERMICA (k) | | |
|-------------------------|-----------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------|
| | | BTU/pie ² hr.°F/pe | Cal/cm ² seg.°C/cm | Kw/M-°C |
| ALUMINIO | 0 | 117 | 0.484 | 0.2025 |
| | 200 | 124 | 0.513 | 0.2146 |
| | 400 | 144 | 0.596 | 0.2492 |
| | 500 | 155 | 0.641 | 0.2682 |
| COBRE | 100 - 200 | a) 243 | a) 1.006 | a) 0.4206 |
| | 100 - 370 | a) 225 | a) 0.930 | a) 0.3894 |
| | 100 - 541 | a) 218 | a) 0.902 | a) 0.3773 |
| | 100 - 837 | a) 208 | a) 0.861 | a) 0.3599 |
| | 500 | 207 | 0.856 | 0.3582 |
| HIERRO FORJADO | 18 | 35 | 0.145 | 0.0606 |
| | 100 | 35 - 32 | 0.139 | 0.0606-0.00554 |
| | 400 | 26 | 0.108 | 0.04499 |
| | 500 | 23 | 0.095 | 0.0398 |
| HIERRO COLADO | 100 | 26 | 0.108 | 0.04499 |
| ACERO SUAVE | 100 | 26 | 0.108 | 0.04499 |
| | 400 | 23 | 0.095 | 0.0398 |
| | 600 | 21 | 0.087 | 0.0363 |
| | 800 | 17 | 0.070 | 0.0294 |
| | 1200 | 14 | 0.058 | 0.0242 |
| METAL MONEL | 100 | 17 | 0.0703 | 0.0294 |
| | 400 | 20 | 0.0083 | 0.0346 |
| LADRILLO REFRACTARIO | 300 | 0.61 | 0.00252 | 1.0557 x 10 ⁻³ |
| | 700 | 0.68 | 0.0028 | 1.1769 x 10 ⁻³ |
| | 1700 | 0.70 | 0.0029 | 1.19038 x 10 ⁻³ |

continuación....

| MATERIAL | TEMP. °C | * CONDUCTIVIDAD TERMICA (k) | | |
|--|-------------|-----------------------------------|----------------------------------|------------------------|
| | | BTU/pie ² hr.°F/pie | Cal/cm ² seg.°C/cm | Kw/M-°C |
| CARTON DE ASBESTO CEMENTO | 20° | 0.43 | 0.001777 | 0.000794 |
| HOJAS DE ASBESTO | 51° | 0.096 | 0.0003967 | 0.000166 |
| ASBESTO DE POCA COHESION | -45° 0 | 0.086 0.089 | 0.0003553 0.0003678 | 0.000149 0.000154 |
| LANA DE BALSAMO 35.24 Kg/m ³ | 32° | 0.023 | 0.000095 | 0.0000398 |
| CARTON CORRUGADO | - | 0.037 | 0.000153 | 0.000064 |
| CARTON DE CORCHO 160.18 Kg/m ³ | 30 | 0.025 | 0.0001033 | 0.000043 |
| CORCHO, TIERRA | 32 | 0.025 | 0.0001033 | 0.000043 |
| FIELTRO, PELO | 30 | 0.021 | 0.00008677 | 0.0000163 |
| FIELTRO, LANA | 30 | 0.03 | 0.0001239 | 0.000052 |
| CARTON AISLAN- TE DE LANA | 21 | 0.028 | 0.0001157 | 0.0000484 |
| LANA DE VIDRIO 24 Kg/M ³ | 24 | 0.022 | 0.0000909 | 0.0000381 |
| LANA DE ROCA DE POCA COHESION | 149 260 | 0.039 0.050 | 0.0001611 0.0002066 | 0.0000675 0.0000865 |
| ASERRIN | 24 | 0.034 | | 0.0000588 |
| MADERA | 24 | 0.034 | 0.0001404 | 0.0000588 |

Si en la pared de un horno se encuentran varias capas o está compuesta de diferentes materiales como se muestra en la fig. 2.3a, se procede de la siguiente manera: se encuentran los gradientes de temperaturas en los tres materiales, y el flujo de calor puede escribirse como:

$$q = \frac{-K_A A (T_2 - T_1)}{\Delta X_A} = \frac{-K_B A (T_3 - T_2)}{\Delta X_B} = \frac{-K_C A (T_4 - T_3)}{\Delta X_C} \quad (2.2)$$

El flujo de calor debe ser el mismo para las tres secciones.

Resolviendo simultáneamente las tres ecuaciones se llega a:

$$q = \frac{(T_1 - T_4)}{\frac{\Delta X_A}{K_A A} + \frac{\Delta X_B}{K_B A} + \frac{\Delta X_C}{K_C A}} \quad (2.3)$$

Reordenando la ecuación 2.3 tenemos:

$$q = \frac{A (T_1 - T_4)}{\frac{\Delta X_A}{K_A} + \frac{\Delta X_B}{K_B} + \frac{\Delta X_C}{K_C}} \quad (2.4)$$

$$\text{donde: } K_{eq} = \frac{\Delta X_A + \Delta X_B + \Delta X_C + \Delta X_D + \dots + \Delta X_N}{\frac{\Delta X_A}{K_A} + \frac{\Delta X_B}{K_B} + \frac{\Delta X_C}{K_C} + \frac{\Delta X_D}{K_D} + \dots + \frac{\Delta X_N}{K_N}} \quad (2.5)$$

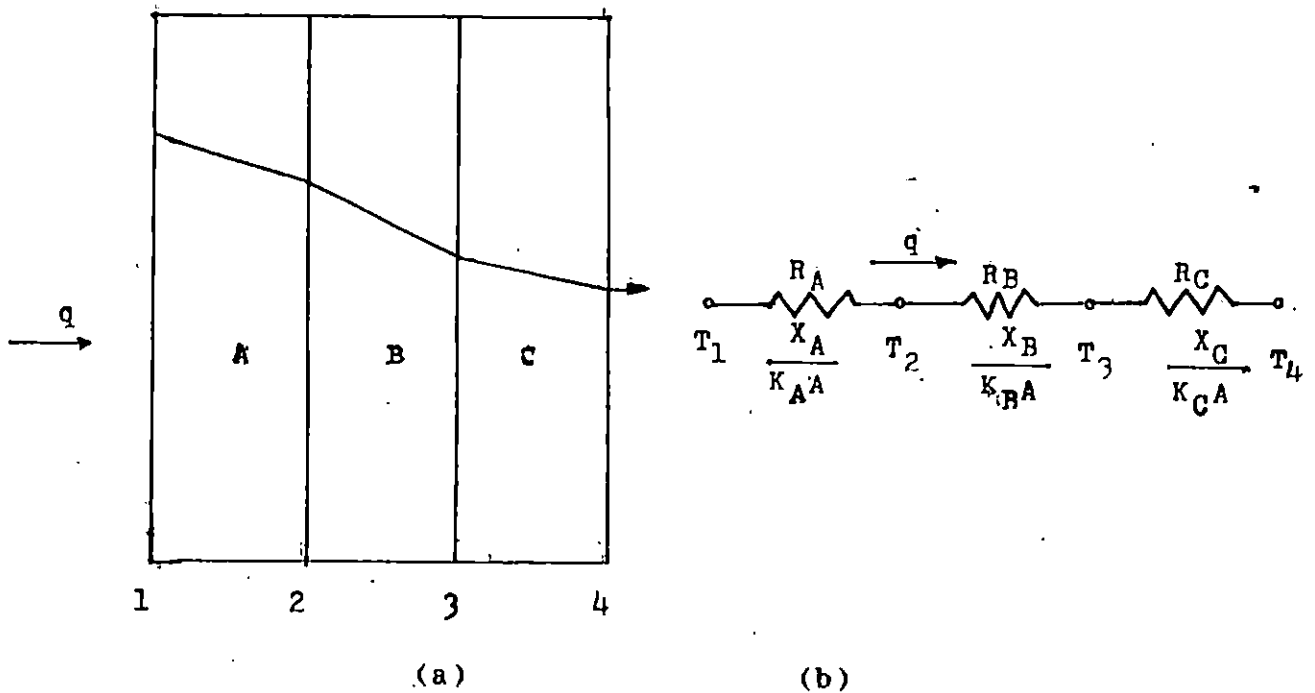


Fig. 2.3 Transferencia de calor unidimensional a través de una pared compuesta.

Con la ecuación 2.4 y 2.5 se puede hacer referencia al similitud eléctrico (fig. 2.3b), para este tipo de problema puede escribirse:

$$q = \frac{\Delta T_{\text{total}}}{\Sigma R_t}$$

Donde:

$$\Sigma R_t = \frac{\Delta X_A}{K_{AA}} + \frac{\Delta X_B}{K_{BA}} + \frac{\Delta X_C}{K_{CA}} \quad [^{\circ}\text{C/Kw}]$$

Con las relaciones dadas se puede encontrar la temperatura en cualquier frontera de cada material, así de la ecuación 2.2 se despeja para cada temperaturas:

$$\begin{aligned}
 T_2 &= T_1 - \frac{q \Delta X_A}{A K_A} \\
 T_3 &= T_2 - \frac{q \Delta X_B}{A K_B} \\
 T_4 &= T_3 - \frac{q \Delta X_C}{A K_C}
 \end{aligned}
 \tag{2.6}$$

2.4.2 CONVECCION.

La transferencia de calor por convección se debe al movimiento de un fluido. El fluido frío adyacente a superficies calientes recibe calor que luego transfiere al resto del fluido frío mezclándose con él.

Hay dos tipos de convecciones: La convección natural y la convección forzada.

La convección natural es aquella en la cual el movimiento del fluido es debido a la diferencia de densidades que resulta de la transferencia de calor que modifica la densidad relativa a cualquier fluido circundante.

La convección forzada es cuando el movimiento del fluido por el que se transfiere calor se hace mecánicamente, por ejemplo, por una bomba o ventilador.

Para un horno eléctrico en un ambiente cerrado, las condiciones del fluido se consideran estables, por lo que únicamente se describe y analiza la convección natural.

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

De lo anterior la rapidez de calor transferido por convección entre una superficie y un fluido viene dada por:

$$q_c = h_c A \Delta T \quad (2.7)$$

donde:

q_c = Razón de transferencia de calor.

h_c = Coeficiente de convección (kw/m²°C)

A = Area de transferencia de calor (m²)

ΔT = Diferencia entre la temperatura de la superficie y la temperatura del fluido (°C).

El coeficiente de convección se puede determinar en forma analítica. Para la mayoría de los casos "h" tiene que determinarse experimentalmente. En la tabla 2.3 se dan valores aproximados de "h" para varias configuraciones.

Existe una ecuación analítica para h que es muy utilizada para convección natural, ésta es:

$$h = \frac{C (T_1 - T_2)^{0.25}}{152} \quad [\text{Kw/m}^2\text{°C}] \quad (2.8)$$

donde:

T_1 : Es la temperatura de la superficie

T_2 : Es la temperatura del gas o aire.

El valor de C determinado experimentalmente según referencia 10 es como sigue:

Para superficies planas horizontales y con la cara hacia arriba y más caliente que el gas $C = 0.39$; Para superficies planas verticales $C = 0.30$; y para superficies horizontales con la cara hacia abajo y más caliente que el gas $C = 0.20$.

TABLA 2.3 Valores aproximados de los coeficientes de transferencia de calor por convección.

| MODO | h | h |
|--------------------------|-------------------------------|----------------------|
| | BTU/(hr-pie ² -°F) | w/m ² -°C |
| Aire, convección libre | 1 - 5 | 5 - 25 |
| Aire, convección forzada | 2 - 100 | 10 - 500 |
| Agua | 20 - 300 | 100 - 15000 |
| Agua hirviendo | 500 - 5000 | 2500 - 25000 |
| Condensación del vapor | 1000 - 20000 | 5000 - 100.000 |

2.4.3 RADIACION.

La radiación es la emisión de energía en la forma de ondas electromagnéticas. La radiación incidente sobre un cuerpo puede ser absorbida, reflejada y transmitida.

Si se designa a: ρ , α , τ como las porciones de energía radiante, incidentes que se reflejan, absorben y transmiten respectivamente, entonces podemos escribir:

$$\rho + \alpha + \tau = 1 \quad (2.9)$$

En donde se llama reflectividad a ρ , absorbilidad a α y transmisibilidad a τ . Para un cuerpo completamente absorbente (negro) $\alpha = 1$, y para un cuerpo opaco $\tau = 0$.

El intercambio de energía radiante entre dos superficies viene dada por la ecuación de Stefan-Boltzman:

$$q = \sigma A(T_1^4 - T_2^4) \quad (2.10)$$

donde:

- q : Transferencia de calor (kw)
- A : Area del cuerpo (m^2)
- σ : Constante de Stefan-Boltzman

$$\sigma = 5.66 \times 10^{-12} \frac{\text{kw}}{[m^2 \cdot ^\circ K]}$$

$$T_1 = t_1^\circ C + 273$$

$$T_2 = t_2^\circ C + 273$$

Para aplicar correctamente la ecuación (2.10), es necesario hacer una correlación que tenga en cuenta que los cuerpos no son negros y otra que considere las condiciones geométricas del sistema.

La ecuación (2.10) solamente es válida para un cuerpo negro, el cual está rodeado completamente y toda la energía que incide en él sea absorbida.

Para un cuerpo no negro a una temperatura T_1 y con los alrededores a T_2 , el flujo calorífico neto es:

$$q = AE \sigma (T_1^4 - T_2^4) \quad (2.11)$$

donde E es la emisividad definida por:

$$\text{Emisividad (E)} = \frac{\text{Poder emisor de un cuerpo a } T^\circ\text{K}}{\text{Poder emisor de un cuerpo negro a } T^\circ\text{K}}$$

La ecuación 2.11 expresa un valor máximo para q que solamente se obtendrá cuando sea despreciable la parte de la energía emitida que se recibe por reflexión desde los alrededores.

La emisividad E se muestra en la tabla 2.4 para distintos materiales.

Si además del factor geométrico se considera que los cuerpos no son completamente negros, debe hacerse una corrección debido a la emisividad.

Por lo anterior la ecuación puede expresarse:

$$q = A F_{\lambda} F_e \sigma (T_1^4 - T_2^4) \quad (2.12)$$

Donde F_e es el factor de corrección de la emisividad y F_A el factor geométrico.

En la tabla 2.5 se dan valores para F_e y F_A para cierto número de casos comunes.

TABLA 2.4 Emisividad normal total de las superficies sólidas.

| SUPERFICIE | TEMPERATURA °C | EMISIVIDAD (CUERPO NEGRO =1) |
|---|--|---|
| Aluminio: Lámina Comercial Oxidada a 599°C | 100 199 - 593 | 0.09 0.11 - 0.19 |
| Bronce: Pulimentado Placa empañada | 100 48.9 - 348.9 | 0.06 0.22 |
| 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 ligeramente fun- dida. | 24 198.9 - 599 37.7 - 371.1 1560 - 1710 | 0.82 0.52 - 0.57 0.94 - 0.97 0.27 - 0.39 |

continuación

| SUPERFICIE | TEMPERATURA °C | EMISIVIDAD (CUERPO NEGRO=1) |
|--|----------------------|--------------------------------|
| Acero Inoxidable: Pulimentado 18.8 después de 42 hrs. a 526.7 | 100 215.6 - 526.7 | 0.074 0.62 - 0.73 |
| Ladrillo de Alúmina-Silicio 80-58 Al ₂ O ₃ , 16-38 SiO ₂ , 0.4 Fe ₂ O ₃ . | 1010 - 1565.6 | 0.61 - 0.43 |
| 36-26 Al ₂ O ₃ , 50 SiO ₂ , 1.7FeO ₃ . | - | 0.73 - 0.63 |
| 61 Al ₂ O ₃ , 35 SiO ₂ , 2.9 Fe ₂ O ₃ . | - | 0.78 - 0.68 |
| Ladrillo: de construcción Barro cocido | 1000 1000 | 0.45 0.75 |
| Ladrillo Refractario de Magnesita | 1000 | 0.38 |
| Revoque: Mortero áspero | 10 - 87.7 | 0.91 |

TABLA 2.5 Valores de F_A y F_e .

| | F_A | F_e |
|---|---------|--|
| a) La superficie A_1 es pequeña comparada con la superficie envolvente A_2 | 1 | ϵ_1 |
| b) superficies A_1 y A_2 de discos paralelos, cuadrados, rectángulos 2:1, rectángulos largos | Fig.2.4 | $\epsilon_1 \epsilon_2$ |
| c) Superficie dA_1 y superficie rectangular paralela A_2 con una esquina del rectángulo sobre dA_1 | Fig.2.5 | $\epsilon_1 \epsilon_2$ |
| d) Superficies A_1 o A_2 de rectángulos perpendiculares teniendo un lado común | Fig.2.6 | $\epsilon_1 \epsilon_2$ |
| e) Superficies A_1 y A_2 de planos paralelos infinitos o superficie A_1 de un cuerpo completamente encerrado que es pequeño comparado con A_2 | 1 | $\frac{1}{\epsilon_1 + \frac{1}{\epsilon_2} - 1}$ |
| f) Esferas concéntricas o cilindros concéntricos infinitos con superficies A_1 y A_2 | 1 | $\frac{1}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{A_1}{A_2} \left(\frac{1}{\epsilon_2} - 1 \right)}$ |

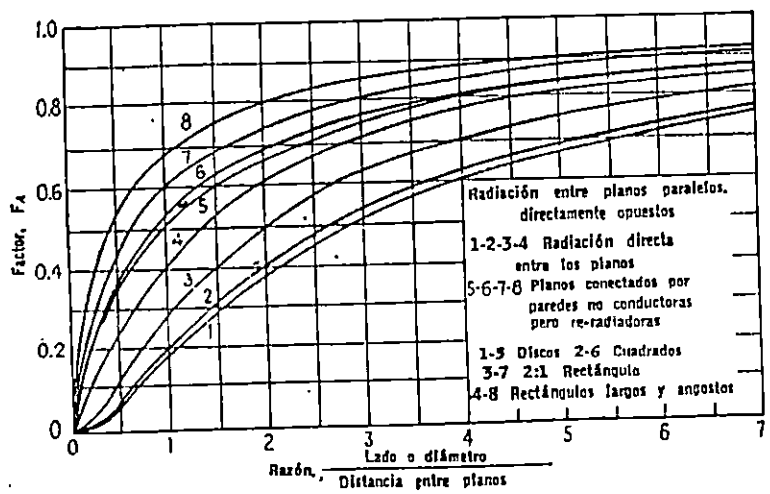


Fig. 2.4 Radiación entre planos paralelos. (Hottel) (Ref. 4)

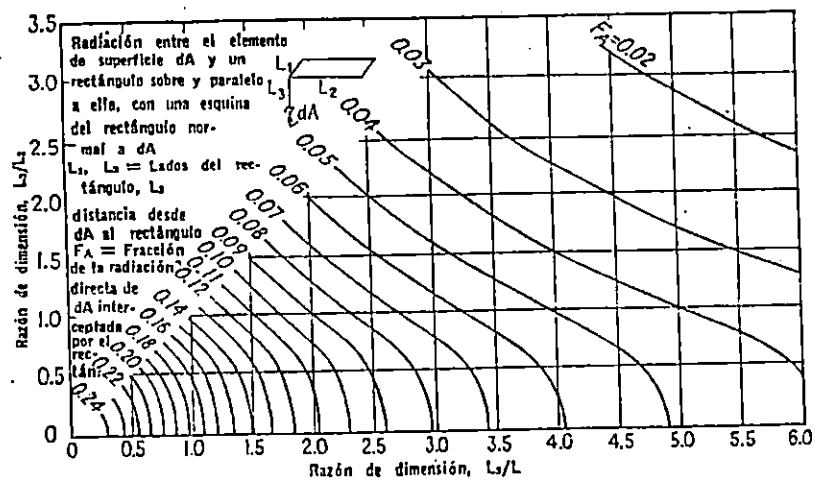


Fig. 2.5 Radiación entre un elemento y un plano paralelo. (Hottel) (Ref. 4)

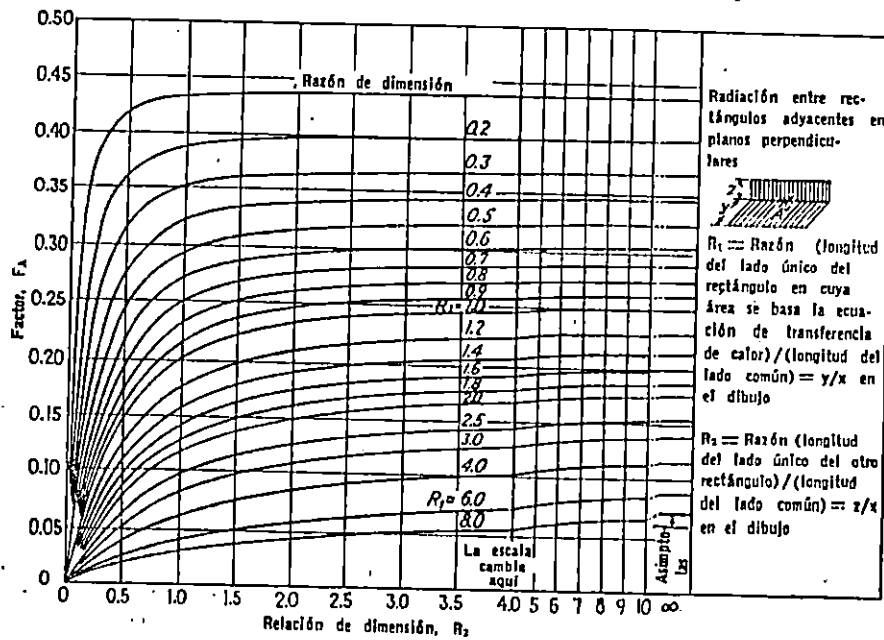


Fig. 2.6. Radiación entre planos perpendiculares. (Hottel)
(Ref. 4)

2.5 CALCULO DEL CALOR EN ESTADO ESTACIONARIO.

El método más común de estimar las pérdidas caloríficas a través de las paredes implica la consideración de toda la trayectoria desde el interior del horno a los alrededores (Fig. 2.7).

La temperatura de la superficie interior puede estimarse usualmente como igual a la temperatura de la cámara del horno ($T_1 = T_{\text{horno}}$).

La temperatura de los alrededores del horno se supone que es la atmosférica con un valor de 27°C .

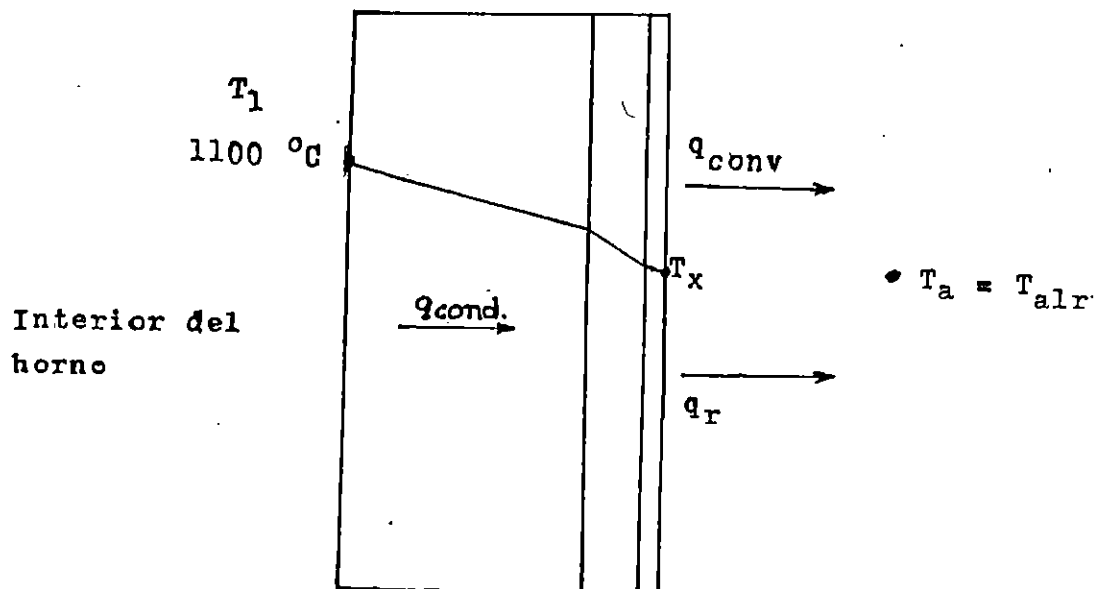


Fig. 2.7. Temperaturas y Flujo de calor desde el interior del horno a los alrededores.

La temperatura desconocida de la superficie exterior de la pared del horno se designa por T_x . Para esta trayectoria suponiendo un estado estacionario sin acumulación de calor en la pared, la pérdida de calor puede escribirse como:

$$q = q_{\text{cond}} = q_{\text{conv}} + q_r \quad (2.13)$$

En donde q_{cond} es el flujo térmico por conducción desde la superficie interior del horno a la exterior.

q_{conv} es la convección térmica desde la superficie exterior a los alrededores.

q_r es la radiación térmica de una superficie exterior a

los alrededores.

Los flujos térmicos por conducción, convección y radiación han sido tratados en las secciones 2.4.1, 2.4.2 y 2.4.3, respectivamente.

2.5.1 ANALISIS DE TRANSFERENCIA DE CALOR EN PAREDES

VERTICALES.

El análisis requiere del uso de la ec. 2.13 para determinar la temperatura de cara fría (T_x) del horno y las pérdidas de calor en las paredes.

En la sección 2.2.1 se han fijado las dimensiones de la cámara y exterior (cubierta de lámina) del horno esquematizándose en la fig. 2.8.

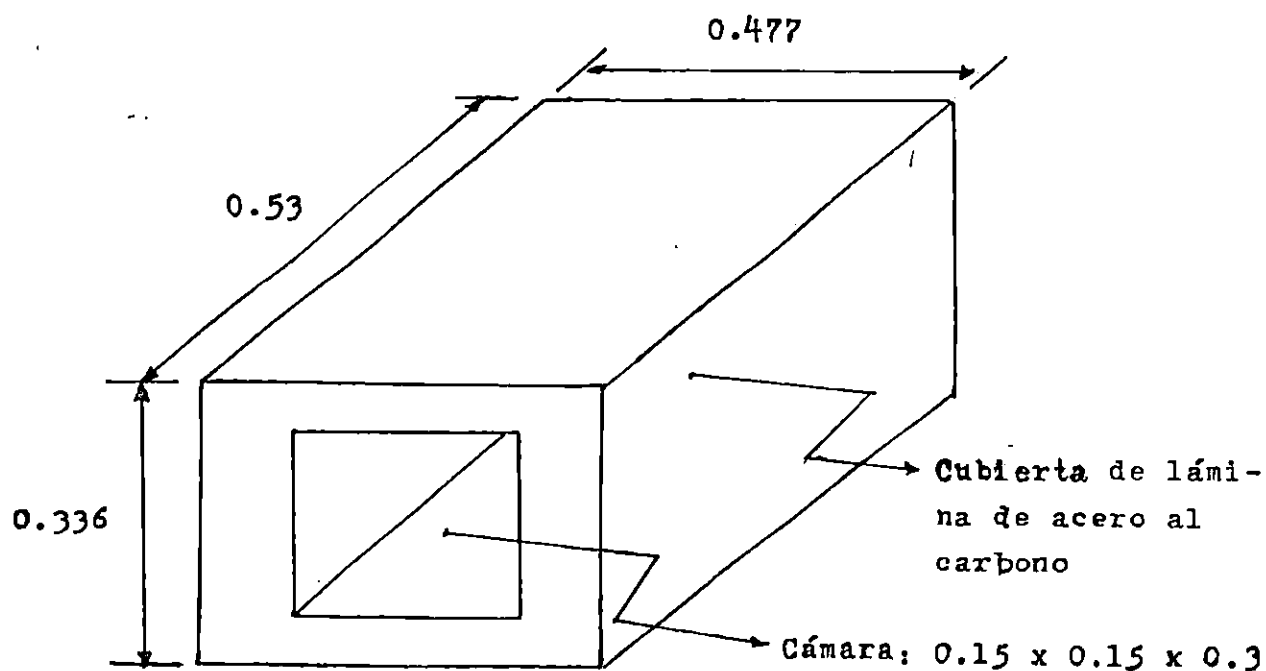
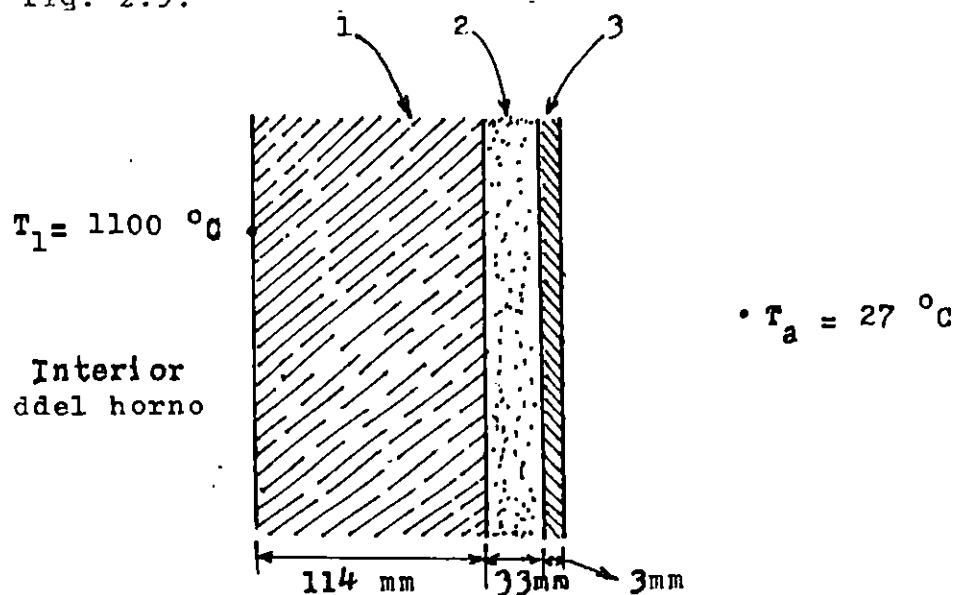


Fig. 2.8. Dimensiones de la cámara y exterior del horno (cotas en m).

También es necesario hacer una configuración de la pared compuesta vertical del horno. En la sección 2.2.2 se han definido los materiales y dimensiones, lo cual se esquematiza en la fig. 2.9.



- 1: Ladrillo refractario $K = 0.0011907 \text{ Kw/m-}^\circ\text{C}$ (Tabla 2.2)
 2: Fibra cerámica (ver tabla 2.6)
 3: Lámina de acero al carbono $K = 0.0024 \text{ Kw/m-}^\circ\text{C}$ (Tabla 2.2)

Fig. 2.9. Pared vertical compuesta del horno.

Tabla 2.6. Conductividad térmica de la fibra cerámica para diferentes temperaturas con densidad: 96 Kg/m^3 (Ver anexo N° 5) Ref. 15

| T ($^\circ\text{C}$) | K (Kcal-m)/m ² h. $^\circ\text{C}$ | K * (Kw/m- $^\circ\text{C}$) |
|------------------------|---|-------------------------------|
| 315 | 0.06 | 0.00006976 |
| 540 | 0.11 | 0.0001279 |
| 760 | 0.17 | 0.0001977 |
| 870 | 0.21 | 0.0002442 |

*/ Se ha hecho la conversión tomando un factor de $1\text{Kcal/h} = 1.163 \times 10^{-3} \text{ Kw}$.

La conductividad térmica equivalente de la fig. 2.9 viene dada por:

$$K_{eq} = \frac{L_1 + L_2 + L_3}{L_1/K_1 + L_2/K_2 + L_3/K_3}$$

Donde: $L_1 = 0.114 \text{ m}$

$L_2 = 0.033 \text{ m}$

$L_3 = 0.003 \text{ m}$

$K_1 = 0.0011907 \text{ Kw/m-}^\circ\text{C} \quad *$

$K_2 = 0.0002442 \text{ Kw/m-}^\circ\text{C} \quad *$

$K_3 = 0.0024 \text{ Kw/m-}^\circ\text{C}$

$$K_{eq} = \frac{0.114 + 0.033 + 0.003}{\frac{0.114}{0.0011907} + \frac{0.033}{0.000242} + \frac{0.003}{0.0024}}$$

$$K_{eq} = 6.46 \times 10^{-4} \text{ Kw/m-}^\circ\text{C}$$

El área promedio del horno viene dada por:

$$A_p = \sqrt{A_{ex}A_{in}} \quad \text{Si } A_{ex}/A_{in} > 2 \quad (\text{Ref. 11})$$

Donde A_{ex} = Area externa del horno (m^2)

A_{in} = Area interna (cámara) del horno (m^2)

De la fig. 2.8.

$$A_{ex} = (0,477 \times 0,336)^2 + (0,53)(0,336)^2$$

$$A_{ex} = 0,68 \text{ m}^2$$

* La conductividad térmica del ladrillo refractario se ha tomado a una temperatura media de 1100°C y de 870°C para la fibra cerámica. La temperatura de la lámina se asume la ambiente.

$$A_{in} = (0.15 \times 0.15)^2 + (0.15 \times 0.3)^2$$

$$A_{in} = 0.135$$

$$A_{ex}/A_{in} = 0.68/0.135 = 5 > 2$$

Entonces:

$$A_D = \sqrt{(0.68) \times (0.135)}$$

$$A_D = 0.135 \text{ m}^2$$

El calor por conducción viene dado por:

$$q_{\text{cond}} = K_{eq} A_D (T_1 - T_x) / \Delta x$$

$$q_{\text{cond}} = 6.46 \times 10^{-4} (0.3) (T_1 - T_x) / 0.15$$

$$q_{\text{cond}} = 1.29 \times 10^{-3} (T_1 - T_x)$$

El calor por convección viene dado por:

$$q = CA_{ex} (T_x - T_a)^{1.25} / 152$$

Donde $C = 0.3$ (Ver sección 2.4.2)

$$q_{\text{conv}} = (0.3)(0.68) (T_x - T_a)^{1.25} / 152$$

$$q_{\text{conv}} = 1.34 \times 10^{-3} (T_x - T_a)^{1.25}$$

El calor por radiación es:

$$q_r = \sigma A_{ex} E (T_x^4 - T_a^4)$$

Donde:

$$E = 0.82 \text{ acero al carbono (tabla 2.4)}$$

$$q_r = 5.66 \times 10^{-11} (0.68)(0.8) (T_x^4 - T_a^4)$$

$$q_r = 3.08 \times 10^{-11} (T_x^4 - T_a^4)$$

Sustituyendo los resultados anteriores en la ecuación 2.13

$$1.29 \times 10^{-3} (T_1 - T_x) = 1.34 \times 10^{-3} (T_x - T_a)^{1.25} + 3.08 \times 10^{-11} (T_x^4 - T_a^4)$$

Para resolver la ecuación anterior se asume una temperatura T_x , por ejemplo si $t_x = 200$ °C, este valor se sustituye en la igualdad. Si la igualdad no se cumple se siguen asumiendo valores para T_x hasta que la igualdad se satisfaga. De esta manera se elaboró la tabla 2.7A. Hasta llegar a la última fila en la que se satisface la relación antes mencionada.

TABLA 2.7A

| T_x (°C) | q_{cond} (Kw) | q_{conv} (Kw) | q_r (Kw) | $q_{conv} + q_r$ (Kw) |
|------------|-----------------|-----------------|------------|-----------------------|
| 200 | 1.16 | 0.84 | 1.29 | 2.13 |
| 100 | 1.29 | 0.29 | 0.35 | 0.64 |
| 155 | 1.22 | 0.58 | 0.78 | 1.36 |
| 150 | 1.23 | 0.55 | 0.74 | 1.29 |
| 145 | 1.23 | 0.52 | 0.69 | 1.21 |
| 146 | 1.23 | 0.53 | 0.70 | 1.23 |

Las temperaturas en la interfase son:

$$T_2 = 1100 - \frac{1.23}{0.3} \left(\frac{0.114}{0.0011907} \right)$$

$$T_2 = 707 \text{ °C}$$

$$T_3 = 707 - \frac{1.23}{0.3} \left(\frac{0.033}{0.0002442} \right)$$

$$T_3 = 153 \text{ °C}$$

La temperatura promedio de la fibra cerámica es:

$$\frac{T_2 + T_3}{2} = \frac{707 + 153}{2} = 430 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Inicialmente se supuso que la fibra cerámica estaba a una temperatura promedio de 870 °C. A fin de ser más precisos en el análisis se repiten los cálculos con el nuevo valor de temperatura encontrado. Interpolando de la tabla 2.6 para $T = 430 \text{ } ^\circ\text{C}$, se obtiene:

$$K_2 = 0.0000994 \text{ Kw/m-}^\circ\text{C}$$

La conductividad térmica del ladrillo se considera que no varía significativamente, entonces:

$$K_{eq} = \frac{0.114 + 0.033 + 0.003}{\frac{0.114}{0.0011907} + \frac{0.0033}{0.0000994} + \frac{0.003}{0.0024}}$$

$$K_{eq} = 3.5 \times 10^{-4} \text{ Kw/m-}^\circ\text{C}$$

El calor por conducción es:

$$q_{cond} = 3.5 \times 10^{-4} (0.3) (T_1 - T_x) / 0.15$$

$$q_{cond} = 7 \times 10^{-4} (T_1 - T_x)$$

El calor por radiación y convección no cambia, entonces:

$$7 \times 10^{-4} (T_1 - T_x) = 1.34 \times 10^{-3} (T_x - T_a)^{1.25} + 3.08 \times 10^{-11} (T_x^4 - T_a^4)$$

TABLA 2.7B

| T_x (°C) | q_{cond} (Kw) | q_{conv} (Kw) | q_x (Kw) | $q_{\text{conv}} + q_x$ (Kw) |
|------------|------------------------|------------------------|------------|------------------------------|
| 150 | 0.66 | 0.55 | 0.74 | 1.29 |
| 100 | 0.70 | 0.29 | 0.35 | 0.64 |
| 110 | 0.69 | 0.34 | 0.41 | 0.75 |
| 106 | 0.70 | 0.31 | 0.39 | 0.70 |

Las temperaturas en la interfase son:

$$T_2 = 1100 - \left(\frac{0.7}{0.3} \right) \left(\frac{0.114}{0.0011907} \right)$$

$$T_2 = 876 \text{ °C}$$

$$T_3 = 876 - \left(\frac{0.7}{0.3} \right) \left(\frac{0.033}{0.0000994} \right)$$

$$T_3 = 110 \text{ °C}$$

La temperatura promedio de la fibra cerámica es: $(876 + 101)/2 = 489 \text{ °C}$

La conductividad térmica a esta temperatura para la fibra cerámica es $0.0001147 \text{ Kw/m-°C}$.

El procedimiento se repite hasta que la conductividad térmica de la fibra cerámica no varíe significativamente, el resultado es:

$$7.73 \times 10^{-4} (T_h - T_x) = 1.34 \times 10^{-3} (T_x - T_a)^{1.25} + 3.08 \times 10^{-11} (T_x^4 - T_a^4)$$

Con la ecuación anterior, se itera nuevamente,

completando la tabla 2.7c

TABLA 2.7C

| T (°C) | q_{cond} | q_{conv} | q_r | $q_{\text{conv}} + q_r$ |
|--------|-------------------|-------------------|-------|-------------------------|
| 100 | 0.77 | 0.29 | 0.35 | 0.64 |
| 110 | 0.76 | 0.34 | 0.41 | 0.75 |
| 111 | 0.76 | 0.34 | 0.42 | 0.76 |

$$T_2 = 857 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_3 = 120 \text{ } ^\circ\text{C}$$

La temperatura promedio de la fibra cerámica es $(857 + 120)/2 = 488 \text{ } ^\circ\text{C}$ y $K_{\text{fibra}} = 0.0001144 \text{ Kw}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})$

2.5.2 TRANSFERENCIA DE CALOR EN EL TECHO O PARED SUPERIOR.

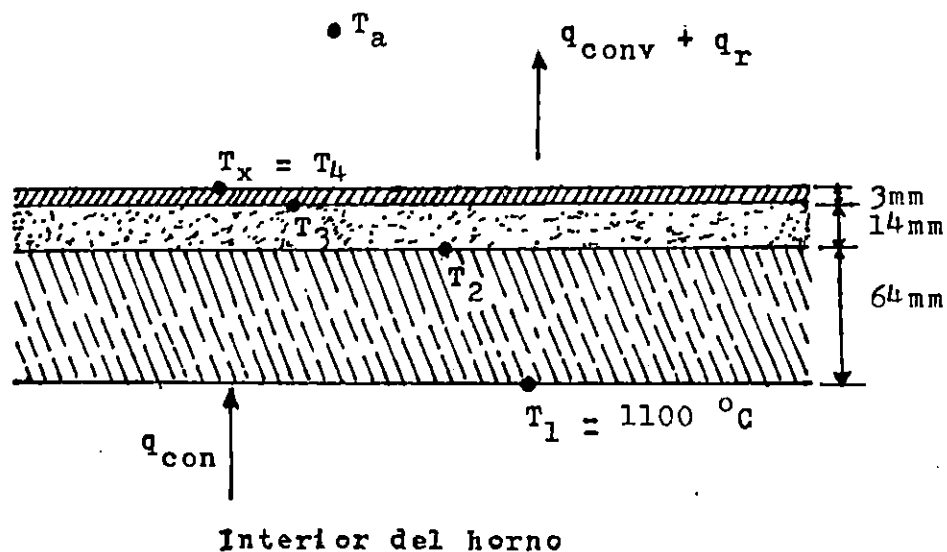


Fig. 2.10. Configuración de la pared compuesta del techo del horno.

La conductividad térmica equivalente es:

$$K_{eq} = \frac{0.064 + 0.014 + 0.003}{\frac{0.064}{0.0011907} + \frac{0.014}{0.0002442} + \frac{0.003}{0.0024}}$$

$$K_{eq} = 7.21 \times 10^{-4} \text{ Kw/(m}^\circ\text{C)}$$

El área exterior es:

$$A_{ex} = (0.53)(0.477)$$

$$A_{ex} = 0.253$$

El área interior es:

$$A_{in} = 0.3 \times 0.15$$

$$A_{in} = 0.045$$

Como:

$$A_{ex}/A_{in} = (0.253)/(0.045) = 5.6 > 2$$

El área viene dada por:

$$A_D = \sqrt{0.253 \times 0.045}$$

$$A_D = 0.107 \text{ m}^2$$

El calor por conducción es:

$$q_{cond} = 7.21 \times 10^{-4} (0.107) (T_1 - t_x)/0.081$$

$$q_{cond} = 9.52 \times 10^{-4} (T_1 - T_2)$$

El calor por convección es:

$$q_{conv} = (0.39)(0.253) (T_x - T_a)^{1.25}/152$$

Donde C = 0.39 (Ver sección 2.4.2)

$$q_{conv} = 6.49 \times 10^{-4} (T_x - T_a)^{1.25}$$

El calor por radiación es:

$$q_r = 5.66 \times 10^{-12} (0.253)(0.8)(T_x^4 - T_a^4)$$

$$q_r = 1.15 \times 10^{-11} (T_x^4 - T_a^4)$$

De los resultados anteriores, se tiene:

$$9.52 \times 10^{-4} (T_1 - T_x) = 6.49 \times 10^{-4} (T_x - T_a)^{1.25} + 1.15 \times 10^{-11} (T_x^4 - T_a^4)$$

Asumiendo valores de T_x se completa la tabla 2.8A.

TABLA 2.8A

| T (°C) | q_{cond} (Kw) | q_{conv} (Kw) | q_r (Kw) | $q_{conv} + q_r$ (Kw) |
|--------|-----------------|-----------------|------------|-----------------------|
| 200 | 0.86 | 0.41 | 0.48 | 0.89 |
| 197 | 0.86 | 0.40 | 0.47 | 0.87 |
| 196 | 0.86 | 0.40 | 0.46 | 0.86 |

Las temperaturas en la interfase es (Ver Fig. 2.10)

$$T_2 = 1100 - \frac{0.86}{0.107} \left(\frac{0.064}{0.0011907} \right)$$

$$T_2 = 668 \text{ °C}$$

$$T_3 = 668 - \frac{0.86}{0.107} \left(\frac{0.014}{0.107} \right)$$

$$T_3 = 207 \text{ °C}$$

La temperatura promedio de la fibra cerámica es:

$$\frac{668 + 207}{2} = 438 \text{ °C}$$

La conductividad térmica a esta temperatura es:

$$K_{\text{fibra}} = 0.0001015 \text{ Kw}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$$

Con este valor se encuentra la conductividad térmica equivalente, repitiendo el procedimiento hasta que este valor no varia considerablemente. Los resultados son.

TABLA 2.8B

| T (°C) | q_{cond} (Kw) | q_{conv} (Kw) | q_r (Kw) | $q_{\text{conv}} + q_r$ (Kw) |
|--------|------------------------|------------------------|------------|------------------------------|
| 150 | 0.58 | 0.27 | 0.28 | 0.55 |
| 155 | 0.57 | 0.28 | 0.29 | 0.57 |

Las temperaturas en la interfase son:

$$T_2 = 1100 - \frac{0.57}{0.107} \left(\frac{0.064}{0.0011907} \right) = 814 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_3 = 814 - \frac{0.57}{0.107} \left(\frac{0.014}{0.0001155} \right)$$

$$T_3 = 168 \text{ } ^\circ\text{C}$$

La temperatura promedio de la fibra cerámica es $(814 + 168)/2 = 491 \text{ } ^\circ\text{C}$ con una constante de conductividad térmica de $0.0001155 \text{ Kw}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$.

2.5.3 TRANSFERENCIA DE CALOR EN LA BASE DEL HORNO.

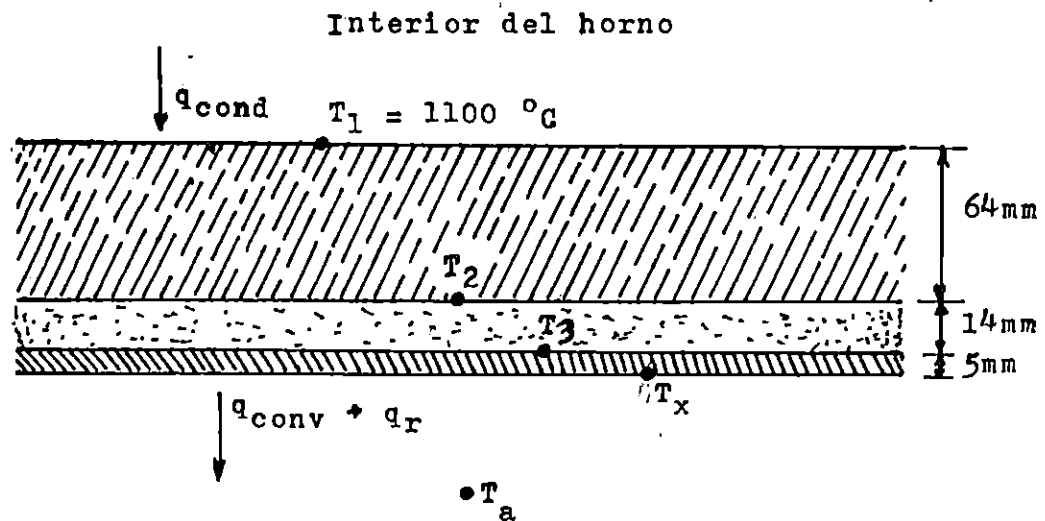


Fig. 2.11. Configuración de la pared compuesta de la base del horno.

Para la fig. 2.11 la K_{ca} es:

$$K_{\text{ca}} = \frac{0.064 + 0.014 + 0.005}{\frac{0.064}{0.0011907} + \frac{0.014}{0.0002442} + \frac{0.005}{0.0024}}$$

$$K_{\text{ca}} = 7.3 \times 10^{-4} \text{ Kw}/(\text{m}^\circ\text{C})$$

El área promedio es la misma que se encontró para la pared superior.

El calor por conducción es:

$$q_{\text{cond}} = 7.3 \times 10^{-4} (0.107) (T_1 - T_x) / (0.083)$$

$$q_{\text{cond}} = 9.41 \times 10^{-4} (T_1 - T_x)$$

El calor por convección es:

$$q_{conv} = (0.20)(0.253)(T_x - T_a)^{1.25}/152$$

Donde; C = 0.20

$$q_{cond} = 3.33 \times 10^{-4} (T_x - T_a)^{1.25}$$

El calor por radiación es el mismo que el caso anterior, por lo tanto:

$$9.41 \times 10^{-4} (T_1 - T_x) = 3.33 \times 10^{-4} (T_x - T_a)^{1.25} + 1.15 \times 10^{-11} (T_x^4 - T_a^4)$$

TABLA 2.9A

| T (°C) | q _{cond} (Kw) | q _{conv} (Kw) | q _r (Kw) | q _{conv} +q _r (Kw) |
|--------|------------------------|------------------------|---------------------|--|
| 200 | 0.85 | 0.21 | 0.48 | 0.69 |
| 225 | 0.82 | 0.25 | 0.61 | 0.86 |
| 223 | 0.83 | 0.24 | 0.60 | 0.84 |
| 220 | 0.83 | 0.24 | 0.59 | 0.83 |

Las temperaturas en la interfase son:

$$T_2 = 683 \text{ °C}$$

$$T_3 = 238 \text{ °C}$$

La temperatura promedio de la fibra cerámica es $(683 + 238)/2 = 460$ y la $K_{fibra} = 0.0001072$

Con este valor se encuentra la conductividad térmica equivalente y se plantea la ecuación 2.13. Esto se repite hasta que K_{fibra} no varía significativamente, los resultados son:

TABLA 2.9B

| T (°C) | q_{onda} (Kw) | q_{conv} (Kw) | q_r (Kw) | $q_{\text{conv}} + q_r$ (Kw) |
|--------|------------------------|------------------------|------------|------------------------------|
| 175 | 0.57 | 0.17 | 0.37 | 0.54 |
| 177 | 0.56 | 0.17 | 0.38 | 0.55 |
| 178 | 0.56 | 0.18 | 0.38 | 0.56 |

Las temperaturas de interfase son:

$$T_2 = 813 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_3 = 180 \text{ } ^\circ\text{C}$$

2.5.4 PERDIDAS TOTALES (q_L).

Las pérdidas totales son todas aquellas que se pierden a través de las paredes. De los resultados anteriores se tiene:

$$q_L = 0.76 + 0.57 + 0.56$$

$$q_L = 1.89 \text{ Kw}$$

2.6 REQUERIMIENTOS DE CALOR PARA EL HORNO Y LA CARGA.

La carga comenzará a absorber calor siempre que la temperatura del horno sea mayor que la temperatura de la carga.

2.6.1 CALOR ALMACENADO POR LOS LADRILLOS.

El calor almacenado por los ladrillos se puede calcular por la ecuación:

$$Q = WC_P\Delta T \quad (2.14)$$

Donde:

Q = Calor en Kw-h

W = Peso (Kg)

C_P = Calor específico (Kw-h)/(Kg-°C)

ΔT = Cambio de temperatura (°C)

El peso puede determinarse por la ecuación:

$$W = \gamma V$$

Donde γ : Es el peso específico en Kg/m³

V : Es el volumen

Según Anexo A, el peso específico del ladrillo empire M es 2000 Kg/m³, y sus dimensiones son 229x114 x 64 mm.

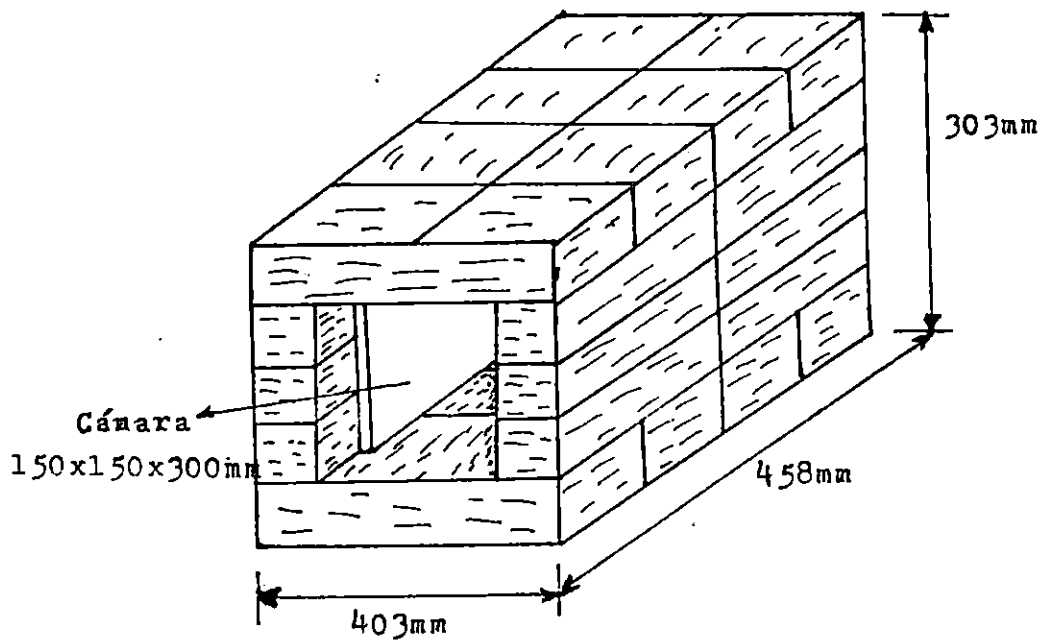


Fig. 2.12. Estructura de ladrillo del horno

El volumen de la estructura de ladrillo se puede determinar por:

$$V = V_{\text{ex}} - V_{\text{cámara}}$$

Donde:

V_{ex} : Es el volumen del paralelepípedo de la estructura exterior de ladrillo.

$V_{\text{cámara}}$: Es el volumen de la cámara

De la figura 2.12:

$$V_{\text{ex}} = (0.403)(0.458)(0.303) = 0.056 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{cámara}} = 0.15 \times 0.15 \times 0.3 = 6.75 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$V = 0.056 - 6.75 \times 10^{-3}$$

$$V = 0.04925 \text{ m}^3$$

Luego:

El peso de la estructura de ladrillo es:

$$W = 2000 (0.04925)$$

$$W = 98.5 \text{ Kg}$$

El ΔT de la ecuación 2.14 se tomará como la temperatura promedio de las superficies verticales y horizontales indicadas en la tabla 2.10 menos la temperatura ambiente

TABLA 2.10

| TEMPER. PARED | T ₁ (°C) | T ₂ (°C) | T _P (°C) |
|------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Vertical | 1100 | 857 | 978 |
| Superior | 1100 | 814 | 957 |
| Inferior | 1100 | 813 | 956 |
| | | | PT = 964 |

PT = Promedio Total

Sustituyendo datos en la Ec. 2.14

$$Q = 58.5(0.000279)(964 - 27)$$

$$Q = 26 \text{ Kw-h}$$

Donde C_P = 0.000279 (Kw-h)/(Kg-°C). (Ref. 8)

Considerando una potencia de diseño de 5.5 Kw se estima el tiempo de encendidos hasta la temperatura máxima de operación.

La potencia de encendido viene dada por:

$$Q = \left[\frac{Q_A + Q_C}{t_s} + (2/3)q_L \right] (1 + S_F) \quad \text{Ec 2.15 (Ref. 16)}$$

Donde:

P : Potencia de encendido (Kw)

Q_A : Calor almacenado por la estructura (Kw-h)

Q_C : Calor latente de vaporización (Kw)

q_L : Pérdidas de calor en las paredes (Kw)

t_s : Tiempo necesario para alcanzar la temperatura máxima de operación

S_F : Factor de seguridad.

De la ecuación 2.15 se determina el tiempo requerido para alcanzar la temperatura máxima de operación:

Donde:

$$P = 5.5 \text{ Kw}$$

$$Q_A = 24 \text{ Kw}$$

$$Q_C = 0$$

$$q_L = 1.89 \text{ Kw}$$

$$t_s = ?$$

$$S_F = 10\% \text{ (Ref. 16)}$$

Sustituyendo:

$$5.5 = \left[\frac{26 + 0}{t_s} + 2/3(1.89) \right] (1 + 0.1)$$

$$t_s = 6.95 \text{ horas}$$

2.7 SELECCION DE LA RESISTENCIA ELECTRICA.

Cuando se selecciona una aleación metálica para actuar como resistencia eléctrica, debe tenerse en cuenta que la temperatura del elemento será superior a la temperatura del horno, y deberá escoger la aleación metálica más duradera y más barata.

Si un horno posee una atmósfera reductora, se puede usar como elemento calefactor acero ordinario al carbono, el cual es recomendable para temperaturas del horno superiores a los

427°C e inferiores a los 500°C. Para mejorar las propiedades del material de la resistencia eléctrica, al hierro se le puede alear con níquel y cromo, lo cual incrementa la resistencia a la fluencia y a la corrosión. Las aleaciones bajas de este tipo se utilizan en atmósferas oxidantes entre los 538°C y los 816°C. Cuanto mayor sea la temperatura, menor deberá ser el contenido de hierro, excepto en atmósferas que no son oxidantes. En tales atmósferas (neutros y reductoras) una aleación del 25% de níquel, 20% de cromo y 45% de hierro es duradera y recomendable para temperaturas de resistencia eléctrica hasta de 1066°C. Para temperaturas hasta de 1100°C, el material de resistencia eléctrica más corrientemente empleado no contiene hierro, suele consistir en un 80% de níquel y un 20% de cromo. Este tipo de resistencia eléctrica es utilizada en hornos de laboratorio (tubo, crisol y muflas) y se emplea porque es barata y puede obtenerse en varios tamaños, bien como alambre o como cinta, posee una resistencia eléctrica elevada casi independiente de la temperatura; tiene además una gran duración, si no se le sobrecalienta. Existen nuevas aleaciones resistentes al calor, diseñadas con el fin de obtener una resistencia física elevada, las que se obtienen al combinar los elementos de Ni y Cr, obteniéndose así aleaciones comparativamente nuevas como el chromel AA, el cual contiene aproximadamente 80%Ni-20%Cr, con adiciones Fe, Se, Co, y Mn.

Estas aleaciones según los fabricantes pueden emplearse con seguridad en atmósferas carburantes hasta temperaturas de 1066°C, sin sufrir la corrosión intergranular característica de este grupo de aleaciones, y resiste bien al oxígeno y al azufre.

Si es necesario obtener temperaturas de 1094 hasta 1233°C, se han desarrollado aleaciones cuya protección depende de la estanqueidad de la película de óxido formada en la superficie. Dichos elementos tienen el nombre comercial de Kanthal. El elemento químico que produce la envolvente protectora de la resistencia es Al (aluminio). Las resistencias que contienen más de un 20% de aluminio forman una densa capa en atmósferas oxidantes, pero pierden su protección en atmósferas que contienen hidrógeno húmedo. Estas aleaciones contienen un 22% de cromo y de un 60 a 70% de hierro son quebradizas a la temperatura ambiente y debe dárseles su forma mientras están calientes. Se vuelven blandas y plásticas a elevadas temperaturas para las que van a emplearse, lo que influye en el método de montaje.

La finalidad de crear una aleación que sea eficaz a elevadas temperaturas en las que se utilice el carburo de silicio, sin que se aprecie un envejecimiento, condujo al descubrimiento del siliciuro de molibdeno, que se conoce en el mercado con el nombre de Kanthal Super. Al igual que el carburo de silicio, emplea el elemento químico silicio, que

produce por oxidación una capa protectora de sílice. Al calentarse y enfriarse, la corteza se agrieta pero no se descostra. Dos acontecimientos ayudan a preservar la capa de sílice. Primero, el diámetro del alambre de la resistencia es muy pequeño en comparación con el de las barras de carburo de silicio y la temperatura es uniforme en todo el alambre. Segundo, la resistencia se reblandece debido a las elevadas temperaturas y la sílice suelta se adhiere. Por encima de los 983°C, la capa se recompone de nuevo. Es aconsejable oxidar las resistencias antes de exponerlas a atmósferas que contengan hidrógeno.

En el anexo A₆, se presenta la composición y propiedades de un cierto número de aleaciones.

En toda resistencia, se pretende obtener ciertas características, las cuales son las siguientes:

- 1) Resistividad relativamente elevada, para limitar la intensidad de corriente a un valor conveniente y reducir las dimensiones del elemento de calefacción.
- 2) Coeficiente de temperatura de la resistividad eléctrica pequeño, y a ser posible positivo y sensiblemente constante en un gran intervalo de temperatura, dentro de los límites de utilización.
- 3) Punto de fusión muy superior a la temperatura máxima de calentamiento, para evitar la destrucción por fusión o por corto-circuito del elemento de resistencia.

- 4) Resistencia mecánica suficiente, no solo a la temperatura normal ambiente, sino también a la temperatura de funcionamiento prevista. El material no debe presentar deformación apreciable, ni aunque se produzcan variaciones bruscas de temperatura; también debe resistir los choques térmicos y vibraciones mecánicas.
- 5) Conductividad calorífica reducida; para evitar pérdida de calor en sus extremos y facilitar la colocación de tomas y terminales.
- 6) El material empleado ha de ser magnético y homogéneo, sin que su estructura sufra modificación a la temperatura de funcionamiento.
- 7) Coeficiente de dilatación muy pequeño.
- 8) Gran resistencia química a los agentes exteriores y a las temperaturas de funcionamiento previstas, sobre todo en lo que se refiere a la oxidación, a los gases desprendidos por los cuerpos caldeados, al ataque químico de los materiales en contacto, etc.
- 9) Gran duración de servicio.

Dados los distintos tipos de aleaciones para resistencia, y las características que debe poseer toda resistencia, se procederá a seleccionar una aleación adecuada.

Considerando que las resistencias utilizadas con mayor frecuencia en hornos industriales son las de aleación Kanthal, el cual es el material más indicado por su efectividad de calentamiento y resistencia a la oxidación a la temperatura de 1250°C, la cual es superior a la temperatura de diseño de la resistencia. Por este motivo y por las demás características, se utilizará como resistencia la aleación Kanthal. En la tabla 2.11, se dan las características del alambre Kanthal.

2.11 CARACTERISTICAS DEL ALAMBRE KANTHAL

| GAUGE | N° | DIAM mm | Ω / m 20/68°T | cm ² /m | m/kg | cm ² / Ω 20/69°T |
|-------|----|------------|-------------------------|--------------------|------|---------------------------------------|
| AWG | 8 | 3.26 | | | | |
| SWG | 10 | 3.25 | | | | |
| | | 3.25 | 0.175 | 102.1 | 17 | 584.2 |
| | | 3.00 | 0.205 | 94.2 | 19.9 | 459.2 |
| AWG | 9 | 2.91 | | | | |
| | | 2.8 | 0.235 | 88 | 22.9 | 373.5 |
| SWG | 12 | 2.64 | | | | |
| | | 2.6 | 0.273 | 81.7 | 26.5 | 299.2 |
| AWG | 10 | 2.59 | | | | |
| | | 2.50 | 0.295 | 78.5 | 28.4 | 266 |
| | | 2.4 | 0.320 | 75.4 | 31.1 | 235.2 |
| SWG | 13 | 2.34 | | | | |
| AWG | 11 | 2.3 | | | | |
| | | 2.3 | 0.349 | 72.3 | 33.9 | 207.1 |
| | | 2.2 | 0.381 | 69.2 | 37. | 181.2 |
| | 12 | 2.05 | | | | |
| AWG | 14 | 2.03 | | | | |
| SWG | | 2.0 | 0.462 | 62.8 | 44.8 | 136.1 |

continuación....

| GAUGE | N° | DIAM mm | Ω / m 20/68°T | cm ² /m | m/kg | cm ² / Ω 20/69°T |
|-------|----|------------|-------------------------|--------------------|-------|---------------------------------------|
| | | 1.9 | 0.511 | 59.7 | 49.7 | 117.3 |
| SWG | 15 | 1.83 | | | | |
| AWG | 13 | 1.83 | | | | |
| | | 1.8 | 0.57 | 56.5 | 55.3 | 99.2 |
| | | 1.7 | 0.64 | 53.4 | 62 | 83.6 |
| AWG | 14 | | | | | |
| SWG | 16 | 1.63 | | | | |
| | | 1.6 | 0.721 | 50.3 | 70.0 | 69.7 |
| | | 1.5 | 0.82 | 47.1 | 79.7 | 57.4 |
| AWG | 15 | 1.45 | | | | |
| | | 1.42 | | | | |
| SWG | 17 | | | | | |
| | | 1.4 | 0.942 | 44.0 | 91.5 | 46.7 |
| | | 1.3 | 1.092 | 40.8 | 106.1 | 37.3 |
| | | | | | | |
| AWG | 16 | | | | | |
| SWG | 18 | 1.22 | | | | |
| | | 1.2 | 1.282 | 37.7 | 124.5 | 29.4 |

AWG: Sistema Americano de Calibres

SWG: Sistema Estándar de Calibres

Ref. 8

2.8 POTENCIA REQUERIDA.

Con el valor de potencia obtenido en la transferencia de calor, que es la potencia requerida, se pretende obtener el valor de resistencia y la longitud de la misma. Pero antes, es necesario dar una pequeña introducción sobre potencia.

Potencia Eléctrica, es la razón en la cual la energía

eléctrica es transformada. Matemáticamente se puede expresar por la expresión siguiente, para circuitos de corriente alterna con cualquier tipo de onda de voltaje y de corriente.

$$p = \int_{t_1}^{t_2} vi \, dt \quad \text{Ec. 216}$$

Donde:

v : valor instantáneo de la tensión en volts.

i : valor instantáneo de la corriente en amp.

$t_2 - t_1 = t$: Intervalo en segundos, durante el cual se determina la energía.

P : Potencia suministrada en watt-seg.

Ahora el valor promedio de la potencia instantánea se obtiene dividiendo la expresión anterior entre el mismo intervalo ($t_2 - t_1$).

$$P = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} vi \, dt \quad \text{Ec. 2.17}$$

Si la corriente y el voltaje cambian en forma sinusoidal, la potencia es:

$$P = VI \cos \alpha \quad \text{Ec. 2.18}$$

donde:

P : Potencia en watt

V : Valor eficaz de la tensión en volt.

I : Corriente eficaz en amperios

α : Angulo de fase entre el voltaje y la corriente

$\cos \alpha$: factor de potencia.

Existen varias formas de potencia, pero la que se utilizará para los cálculos en el presente trabajo es la potencia real, que viene dada por el producto del voltaje (V) por la corriente (I) y por el factor de potencia (Ec. 2.18)

De lo anterior se tiene:

$$P = VI \cos \alpha$$

Tomando la potencia de diseño de 5.5 Kw, y sustituyendo en la ecuación 2.18

$$5.5 \times 10^3 = VI \cos \alpha$$

$\cos \alpha = 1$ (por ser un circuito totalmente resistivo)

$$V = 110 \text{ volt.}$$

Despejando la corriente

$$I = \frac{P}{V \cos \alpha} = \frac{5.5 \times 10^3}{110 \text{ volt.}} \text{ Volt*Amp}$$

$$I = 50 \text{ Amp.}$$

El valor de corriente obtenido, es la corriente de alimentación del circuito.

Se sabe también que:

$$P = R I^2 \quad (\text{para un circuito resistivo}) \quad \text{Ec. 2.19}$$

De donde:

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

Sustituyendo:

$$R_T = \frac{5.5 \times 10^3 \text{ watt}}{(50)^2 \text{ Amp}^2}$$

$$R_T = 2.2 \text{ ohmios } (\Omega)$$

Este valor representa la resistencia equivalente.

Considerando un arreglo de tres resistencias en paralelo (Fig. 2.13) para obtener un valor individual de resistencia se tiene que:

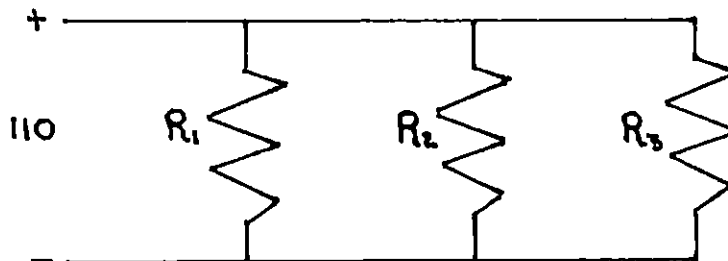


Fig. 2.13. Circuito resistivo del horno

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \quad \text{Pero: } R_1 = R_2 = R_3 = R$$

$$\text{Se tiene que: } \frac{1}{R_T} = \frac{3}{R}$$

Despejando:

$$R = 3 R_T = 3(2.2 \Omega)$$

$R = 6.6 \Omega$ Este es el valor individual de cada resistencia

Teniendo el valor de la resistencia es necesario determinar la longitud aproximada de dicho elemento. Esto se realizará tomando un diámetro mínimo de resistencia de 1.5 mm y material Kanthal. Ahora de la tabla 2.11 se tomarán las siguientes propiedades:

Para $\phi = 1.5$ mm.

SWG N° 16

$$R / L = 0.82 \Omega/m$$

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

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

Encontrando la longitud para cada resistencia.

$$L = \frac{6.6 \Omega}{0.82 \Omega/m}$$

$$L = 8.05 \text{ m}$$

$$L \approx 8 \text{ m}$$

2.9 CONTROL DE TEMPERATURA

A medida que la energía suministrada al horno aumenta crece también la temperatura y, en consecuencia, hay mayores pérdidas de calor tanto por convección, por radiación y

conducción. Existe una temperatura de equilibrio por cada valor de potencia alimentada en condiciones estacionarias. Siempre que se trate térmicamente una muestra, deberá controlarse la temperatura del horno, gobernando la entrada de potencia al horno, ya sea automática o manualmente.

La potencia se puede controlar suministrándola uniformemente a un nivel adecuado o interrumpiendo este suministro periódicamente de modo que durante cierto lapso sea adecuado el suministro de potencia. Un equipo completo para el control de temperatura requiere también de un termopar u otro aparato que mida la temperatura de la muestra.

Describiremos a continuación algunos métodos para el control de la potencia alimentada al horno.

Un aparato simple para controlar la potencia suministrada al horno es el Reostato en serie que se muestra en la fig. 2.14. Este es barato y, en general, se adquiere junto con los hornos pequeños. Mediante una calibración no muy precisa, como es la de establecer una serie de posiciones y observar la temperatura alcanzable en esa posición en condiciones estacionarias, es posible lograr una reproducción bastante aceptable de temperatura. Las desventajas de este aparato son que consume mucha potencia sin que el horno la aproveche, que varía la temperatura de equilibrio con las fluctuaciones del voltaje de la línea y de las condiciones ambientales. Finalmente se necesitan tiempos muy largos para

alcanzar la temperatura de equilibrio característica de cada posición dada.

Esta última dificultad se evita acomodando el reostato para una temperatura elevada, hasta que se alcanza la deseada, y regresando a una posición tal que proporcione la temperatura buscada.

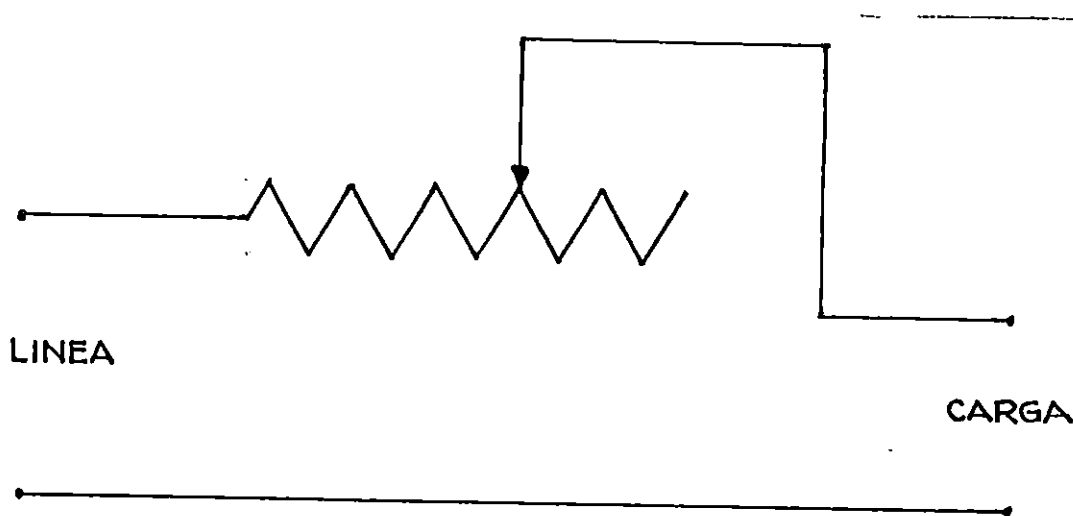


Fig. 2.14 Reóstato en serie

Otro método para regular el voltaje suministrado al horno se logra con el empleo de un autotransformador (fig. 2.15). Este aparato es eficiente y de uso común en pequeños hornos de laboratorio, pero cuando son grandes, el costo del autotransformador los hace prohibitivos. Los autotransformadores se utilizan raramente para controlar la potencia de hornos en tamaño mucho mayores que un Kilowatt, y estos operan mejor si se cambian frecuentemente la posición

de voltaje. Cuando se usan para tiempos largos en una posición fija, puede presentarse algún deterioro de los contactos, y entonces se prefiere un transformador de relación fija.

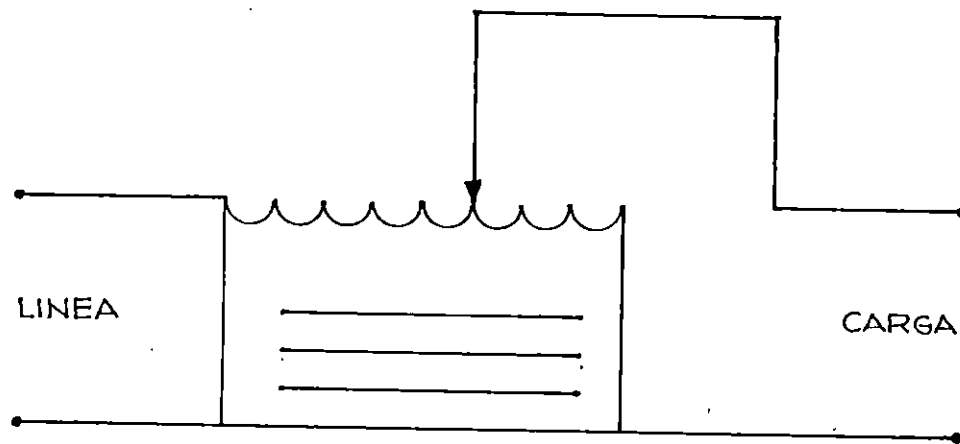


fig. 2.15 Autotransformador.

Los hornos grandes, y algunos de laboratorio muy pequeños, especialmente aquellos que trabajan con una diferencia de potencial mucho menor de 110 voltios, utilizan frecuentemente un transformador en derivación. fig. 2.16

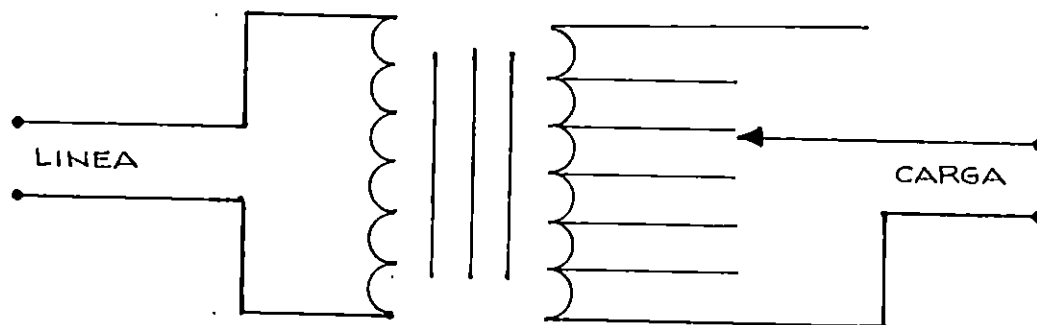


Fig. 2.16 Transformador en derivación.

Una forma muy conveniente de gobernar cargas más bien con un autotransformador pequeño, es usar un Reactor de Núcleo Saturable (fig. 2.17). Este se forma de una bobina enrollada alrededor de un núcleo de hierro y conectado en serie con el circuito principal de potencia.

Existe además una bobina auxiliar devanada sobre el núcleo de hierro del reactor la cual se alimenta con una corriente directa que proviene de un autotransformador y un rectificador. Cuando la bobina auxiliar no está energizada (no hay flujo de corriente directa), el núcleo de hierro provoca que la bobina principal tenga una impedancia alta y evita el paso de corriente de calentamiento a través del horno.

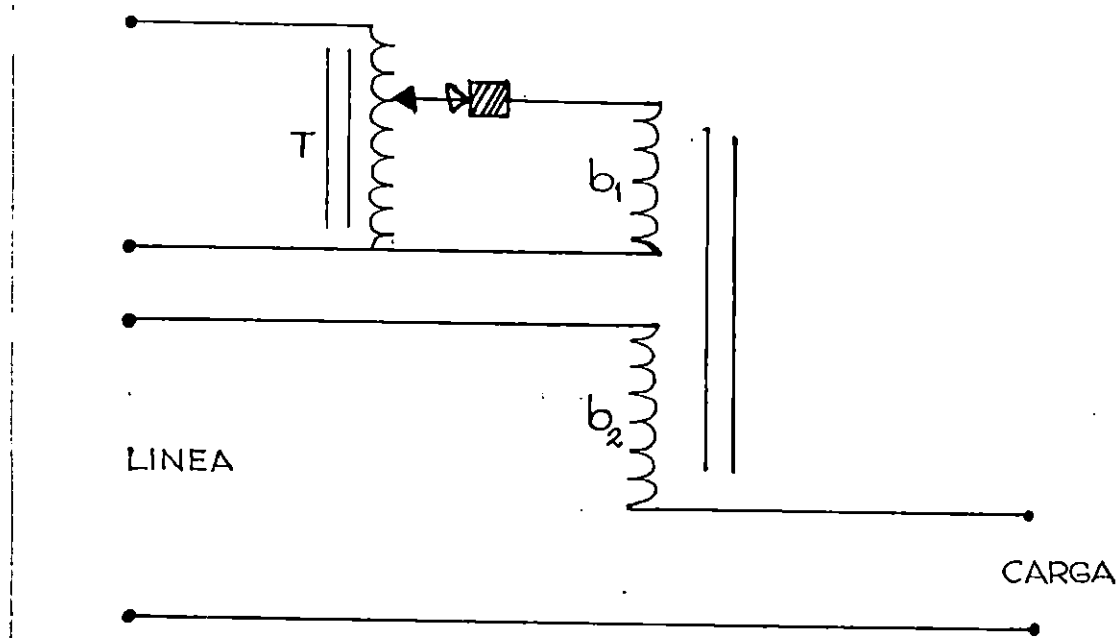


Fig. 2.17. Reactor de núcleo saturable. Se aplica sobre la bobina b_1 un voltaje variable de corriente directa mediante el autotransformador T y el rectificador R . Esto hace variar la impedancia de la bobina b_2

Si se mueve hacia arriba el mando del transformador, se satura magnéticamente el núcleo de hierro y de hecho lo elimina del circuito, luego la impedancia del reactor disminuye, y aumenta la corriente hacia el horno.

Estos son los métodos más comunes para tener un control de temperatura en un horno, al mismo tiempo que un suministro continuo de potencia. cuando se alcanza el equilibrio, la temperatura cambia solamente si varía el voltaje de la línea, si hay cambios de temperatura ambiente o si se modifican las pérdidas de calor por otras razones. Los cambios de voltaje en la línea son generalmente series, de tal manera una temperatura constante se puede obtener solamente por periodos de tiempo relativamente cortos. Sin embargo, para hornos pequeños es posible utilizar un transformador de voltaje constante para alimentar a un autotransformador (fig. 2.18). Este método da como resultado una temperatura muy constante en hornos muy pequeños y es particularmente útil para hornos de capacidad calorífica pequeña o para hornos de crecimiento de monocristales.

Los métodos anteriores son convenientes para el control automático de temperatura no muy refinado, durante tiempos largos, o por su control manual de precisión por tiempos cortos. Sin embargo, en la mayoría de los casos, se realiza el control de temperatura midiendo la temperatura del horno

con un termopar o con pirómetro de radiación, y controlándola al valor deseado con aparatos adecuados, a menudo unidos al equipo de control de potencia descritos anteriormente.

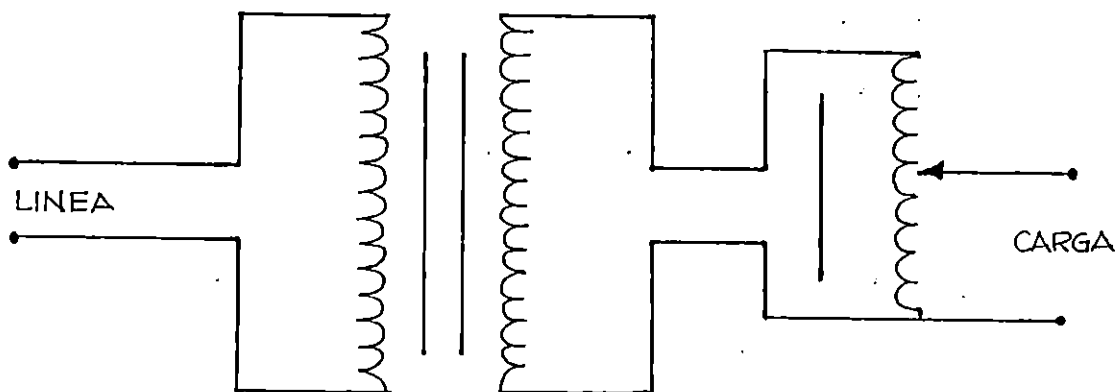


Fig. 2.18 Autotransformador alimentado con un transformador de voltaje constante.

Los instrumentos necesarios para el control automático de temperatura, son casi independientes del método de medición de temperatura. Un termopar, un pirómetro de radiación o un termómetro de resistencia, darán una señal eléctrica que se pueda interpretar en términos de temperatura por los aparatos descritos anteriormente. Esto puede permitir también una comparación entre la temperatura actual y la deseada, y de acuerdo con esto, abrir o cerrar un circuito eléctrico.

CONTROL DE ENCENDIDO-APAGADO.

El método más simple para controlar automáticamente la temperatura de un horno es cortar el suministro de energía cuando se alcanza la temperatura requerida y reestablecer el suministro de nuevo cuando la temperatura cae abajo del valor deseado. Esto es un control de encendido-apagado que se ilustra esquemáticamente en la fig. 2.19. La temperatura se puede medir con un termopar y el instrumento de control actúa sobre un circuito simple disyuntor que abre cuando la temperatura indicada por el termopar está arriba de la temperatura de control y que cierra cuando la temperatura es menor a la temperatura de control.

La potencia suministrada al horno, puede estar pasando completamente al circuito o estar fuera de él completamente. Si el instrumento es suficientemente sensible y el termopar está correctamente localizado, este método proporciona un control satisfactorio. En la mayoría de los casos, debido al tiempo requerido para que el flujo de calor llegue a todos los puntos de la cámara del horno, el control de encendido o apagado conduce a fluctuaciones de temperatura muy marcadas a esto se le llama inercia térmica. El enrollamiento del horno llega a calentarse mucho antes de que el termopar en el interior del horno alcance la temperatura de control. Incluso, si se suspende el suministro de corriente al enrollamiento, el interior del horno continuará calentándose

durante un corto tiempo.

De manera similar, cuando el termopar se enfría de nuevo al punto de control dentro del horno y el regulador suministra de nuevo energía, transcurrirá algún tiempo antes de que el calor del enrollamiento alcance otra vez el centro del horno y se enfriará considerablemente debajo del punto de control.

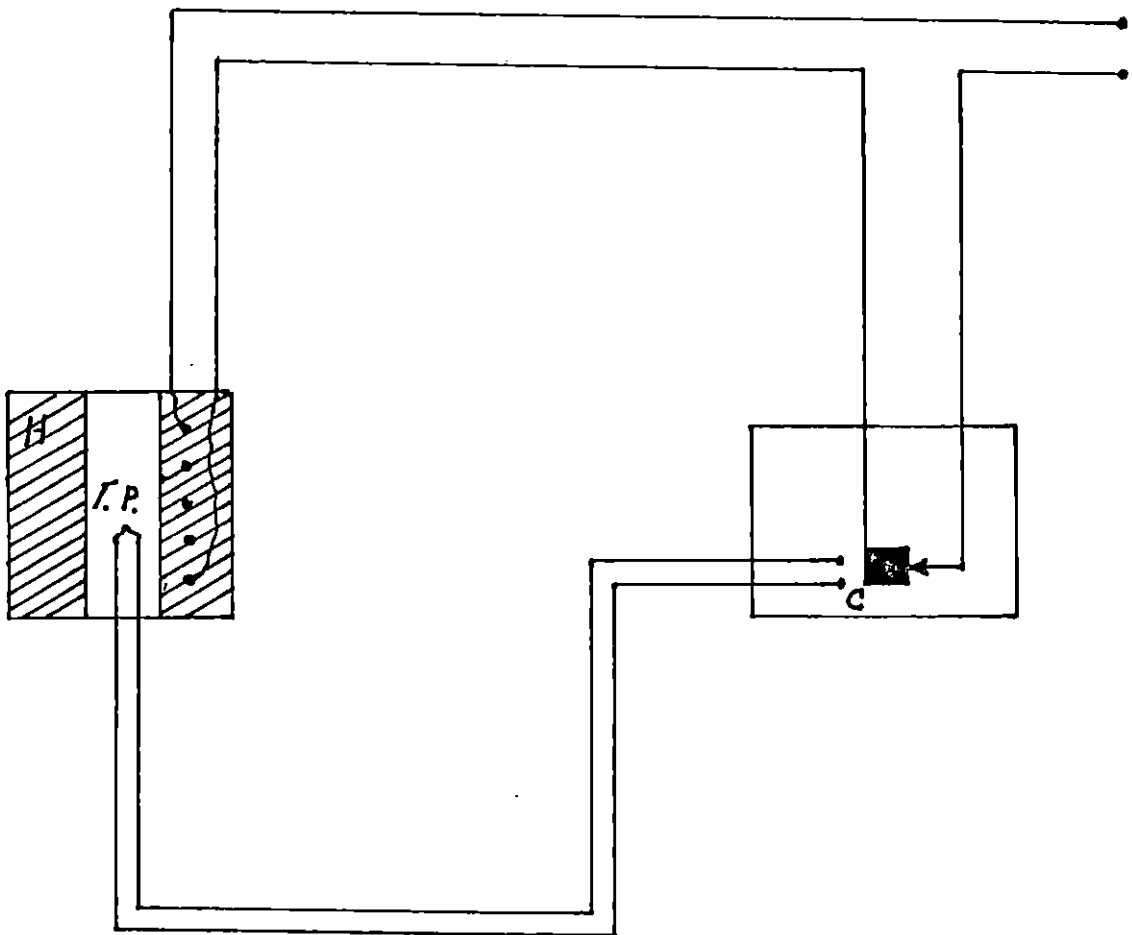


Fig. 2.19 Control Simple de Encendido-Apagado. El controlador es alimentado con la salida de fuerza electromotriz del termopar; el control abre el circuito de potencia, cuando el horno está por encima de la temperatura de control y apaga cuando el horno está por debajo de la temperatura de control.

CONTROL DE DOS POSICIONES.

El control de dos posiciones consiste en la modificación del encendido-apagado que reduce mucho la oscilación de temperatura. Aquí en lugar de suministrar o cortar completamente la potencia, ésta cambia desde un nivel elevado, que calentará justamente al horno por encima de la temperatura deseada, a un nivel bajo que no calentará al horno hasta el valor deseado.

En la fig. 2.20, se muestra un método simple para realizar esto. La resistencia ajustable, en serie con el horno, mantiene alguna corriente fluyendo a través de él durante todo el tiempo y esta corriente se regula de tal manera que es insuficiente para calentar al horno a la temperatura de control.

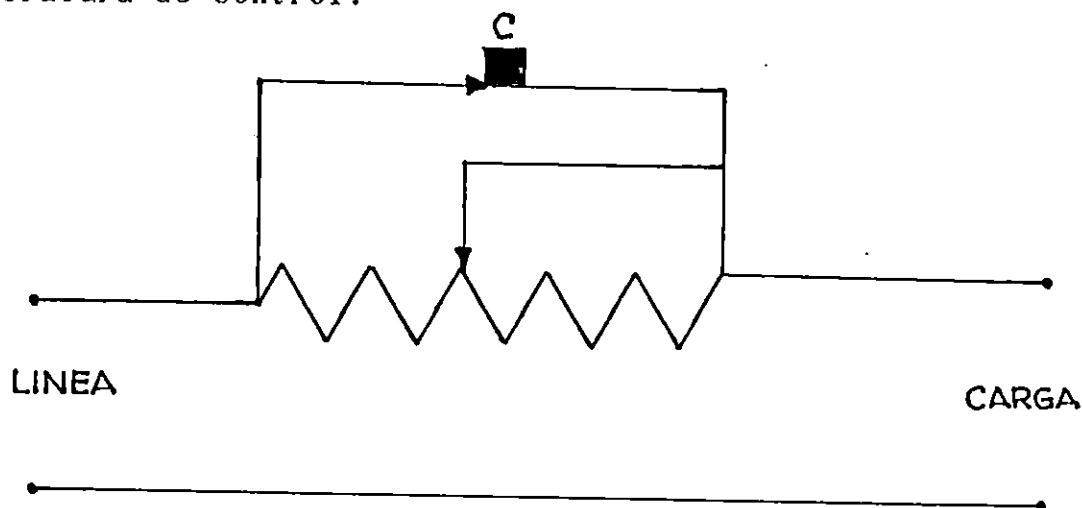


Fig. 2.20 Control de dos posiciones. La potencia suministrada cambia desde un valor alto hasta uno bajo. En este diagrama solamente el nivel de baja potencia puede ser controlado.

Cuando la temperatura del horno queda debajo de la temperatura de control, el cierre de contactos cortocircuitan al reostato y permite que pase una corriente grande a través del horno y lo calienta arriba de la temperatura de control. La diferencia de valores de ambos potenciales debe ser siempre lo suficientemente grande para que, a pesar de las fluctuaciones de voltaje en la línea caigan sobre ambos lados del punto de control, éstos serán los límites de temperatura alcanzables.

Ambas corrientes - la alta y la baja - pueden comprobarse con el circuito de la fig. 2.21.

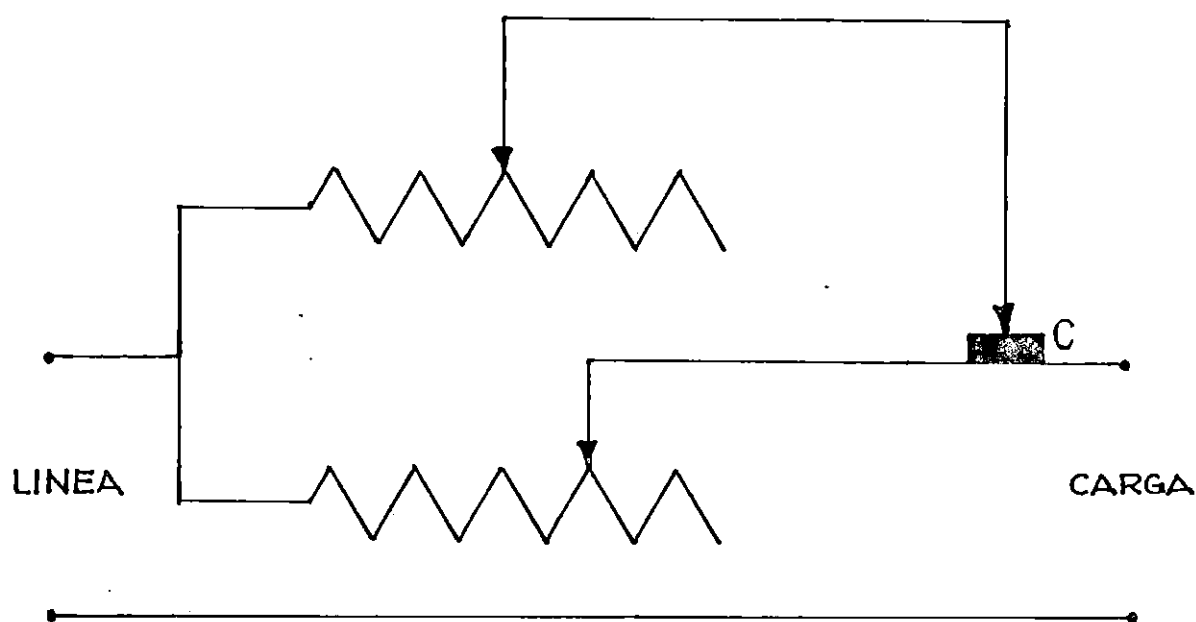


Fig. 2.21 Control de dos posiciones. En este diagrama puede regularse tanto el valor alto como el bajo. C es el contacto en el controlador de temperatura.

2.9.1 SELECCION DEL CONTROL DE TEMPERATURA.

Tomando en cuenta que los métodos para controlar la temperatura descritos anteriormente, se basan en el control de la potencia alimentada al horno, y analizando las características para cada uno de los métodos descritos, se ha tomado la decisión de seleccionar el método de Control de dos posiciones, el cual es una modificación del Método de control de Encendido-Apagado. Este reduce en gran medida las fluctuaciones de temperatura, a pesar de las fluctuaciones de voltaje que puedan ocurrir en la línea de suministro.

2.10 TERMOCUPLAS.

El termopar es un aparato termométrico casi ideal. La fem originada bajo cierto grupo de condiciones dadas es altamente reproducible. La unión medidora de temperatura puede hacerse sumamente pequeña, de tal manera que se puedan medir temperaturas en volúmenes pequeños que finalmente, se indican en función de un voltaje eléctrico. Por lo tanto, la indicación y el control de la temperatura a distancia es fácil de efectuar.

El termopar se basa en el efecto descubierto en 1821 por Seebeck "la circulación de una corriente en un circuito formado por dos metales diferentes, cuyas uniones (unión de

medida o caliente y la unión de referencia o fría), se mantienen a distinta temperatura". Esta circulación de corriente obedece a dos efectos termoeléctricos combinados, el efecto peltier que provoca la liberación o absorción de calor en la unión de dos metales distintos cuando una corriente circula a través de la unión, y el efecto thompson que consiste en la liberación o absorción de calor cuando una corriente circula a través de un metal homogéneo en el que existe un gradiente de temperaturas.

La combinación de los efectos, de Peltier y de Thompson, es la causa de la circulación de corrientes al cerrar el circuito en el termopar.

Estudios realizados sobre el comportamiento de termopares, han permitido establecer tres leyes fundamentales:

- 1) Ley del Circuito Homogéneo. En un conductor metálico homogéneo; no puede sostenerse la circulación de una corriente eléctrica por la aplicación exclusiva del calor.
- 2) Ley de los metales intermedios. Si en un circuito de varios conductores la temperatura es uniforme desde un punto de soldadura A a otro punto B, la suma algebraica

de todas las fuerzas electromagnéticas es totalmente independiente de los conductores metálicos intermedios, y es la misma que si se pusieran en contacto directo A y B.

- 3) Ley de las temperaturas intermedias. La f.e.m. generada por un termopar con sus uniones a las temperaturas T_1 y T_3 , es la suma algebraica de la f.e.m. del termopar con sus uniones a T_1 y T_2 y de la f.e.m. del mismo termopar con sus uniones a las temperaturas T_2 y T_3 .

Por estas leyes se hace evidente que en el circuito se desarrolla una pequeña tensión continua, proporcional a la temperatura de unión de medida, siempre que haya una diferencia de temperaturas con la unión de referencia.

La selección de los materiales para los termopares, se hace de forma que tengan una resistencia adecuada a la corrosión, a la oxidación y a la cristalización, que desarrollen una f.e.m. relativamente alta, que sean estables, de bajo costo y de baja resistencia eléctrica y que la relación entre la temperatura y la f.e.m. sea tal que el aumento de ésta sea (aproximadamente) paralela al aumento de la temperatura.

En la fig. 2.22, se presentan las curvas características de los termopares.

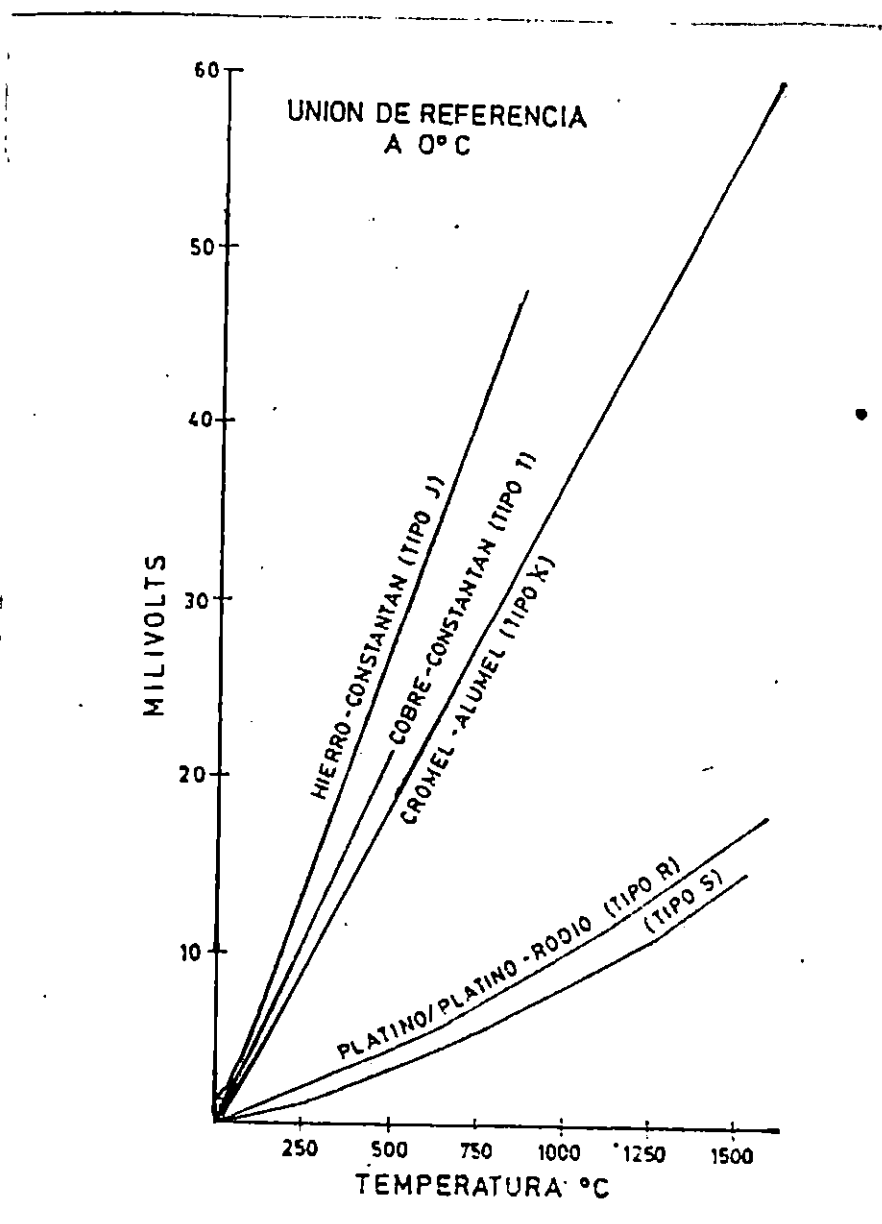


Fig. 2.22 Curvas características f.e.m.-temperatura de los termopares.

En el anexo N^o 7 se muestran tablas de valores de f.e.m. en función de la temperatura.

En las tablas 2.12 y 2.13, se muestran los termopares más comunes, la f.e.m. que pueden desarrollar, la temperatura más alta a que pueden trabajar satisfactoriamente y su composición química. En la medición de las temperaturas elevadas que se encuentran en la fabricación del acero en fusión, se emplean cartuchos con termopares R o S, que se enchufan en una lanza, y ésta se sumerge en el acero y aunque el cartucho se funde, da tiempo a que un circuito especial fije la máxima temperatura.

El termopar tipo T, de cobre - constantán, tiene una elevada resistencia a la corrosión por humedad atmosférica o condensación y puede utilizarse en atmósferas oxidantes o reductoras. Se prefiere generalmente para las medidas de temperaturas entre -200 a + 260°C.

TABLA 2.12 CARACTERISTICAS DE TERMOPARES

| TIPO | INTERVALO DE MEDIDA | f.e.m. mV/°C | limites de error del termopar | | Limites del cable de Extensión | | |
|--|--|-----------------|-------------------------------|--------------------------|--------------------------------|------------------|---------|
| | | | Regular | Premium | Temp. | Error | |
| | | | | | | Regular | Premium |
| Cobre constatán tipo T | -185°C a - 60°C - 60°C a + 95°C 95°C a 370°C | 0.0052 | ±2 % ±0.8 % ±0.75% | ±1 % ±0.4 % ±0.37% | -60 a +95°C | -0.8°C | |
| Hierro constatán tipo J | 0°C a 425°C 425°C a 759°C 0°C a 300°C 300°C a 550°C | 0.055 | ±2.2°C ±0.5°C | ±1.1°C ±0.3°C | 0-200°C | ±2.2°C | ±1.1°C |
| Cromel-Alumel tipo K | 0°C a 400°C 400°C y superior | 0.04 | ±3°C ±0.75°C | | 0-200°C | | ±3°C |
| Cobre constatán (hilo de extensión) | | | | | 0-200°C | ±5°C | |
| Pt-Pt/Rh 13% tipo R | 0°C a 1,100°C 1,100°C a 1,400°C 1,400°C a 1,600°C | 0.012 | ±1°C ±2°C ±3°C | | 25 a 200°C | ± 6% 0 ±5% | |
| Pt-Pt/Rh 10% tipo S | 0°C a 1,100°C 1,100°C a 1,400°C 1,400°C a 1,600°C | 0.010 | ±1°C ±2°C ±3°C | | 25 a 200°C | ± 6% 0 ±5% | |

Ref. 13

TABLA 2.13 DESIGNACION DE LOS TERMOELEMENTOS Y SU COMPOSICION QUIMICA

| TERMOELEMENTO | COMPOSICION QUIMICA (EN %) | | | | | | | | |
|--------------------------------|----------------------------|------|------|------|------|------|------|-----|----|
| | Cr | Fe | Mn | Si | Ni | Cu | Al | Pt | Rh |
| JP Hierro (1) | | 99.5 | Ind. | Ind. | Ind. | Ind. | Ind. | - | - |
| JN o YN Constatán | | - | - | - | 45 | 55 | - | - | - |
| TP Cobre | | - | - | - | - | 100 | - | - | - |
| KP Cromel (2) | 10 | - | - | - | 90 | - | - | - | - |
| KN Alumel (2) | | - | 2 | 1 | 95 | - | 2 | - | - |
| RP Platino con 13% de rodio | | - | - | - | - | - | - | 87 | 13 |
| SP Platino con 10% de rodio | | - | - | - | - | - | - | 90 | 10 |
| RN o SN Platino | | - | - | - | - | - | - | 100 | - |

NOTAS:

P = positivo N = negativo

(1) El hierro, además de los elementos indicados, contiene en pequeña porción azufre y fósforo

(2) Marca Kosklns Manufacturing Co.

Ref. 13

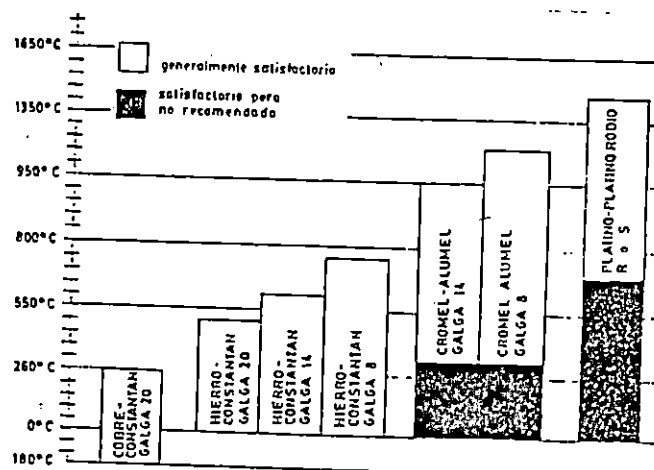


Fig. 2.23 Selección de termopares. Ref. 13

El termopar tipo J, de hierro-constatán, es adecuado en atmósferas con escaso oxígeno libre. La oxidación del hilo de hierro aumenta rápidamente por encima de los 550°C, siendo necesario un diámetro mayor del hilo hasta una temperatura límite de 750°C. El termopar tipo K de cromel - alumel, se recomienda en atmósferas oxidantes y a temperaturas de trabajo entre 500 y 1000°C. No debe ser utilizado en atmósferas reductoras ni sulfurosas, a menos que esté protegido con un tubo de protección.

Los termopares tipo R y S de Pt-Pt/Rh, se emplean en atmósferas oxidantes y temperaturas de trabajo hasta 1500°C. Si la atmósfera no es oxidante, el termopar debe protegerse con un tubo de cerámico estanco.

El material del tubo de protección o vaina, debe ser el adecuado para el proceso donde se aplica y suele ser de hierro, acero sin soldadura, acero inoxidable, inconel,

cerámico, carburo de silicio, etc.

En la tabla 2.14, se indica una guía de selección de tubos según la aplicación.

Para medir la f.e.m. del termopar pueden emplearse ya sea un circuito galvanométrico o un circuito potenciométrico. El circuito galvanométrico se basa en la desviación de una bobina móvil situada entre dos polos de un imán permanente al pasar a través de la corriente del elemento primario. El paso de esta corriente, produce un campo magnético que se opone al del imán permanente, y la bobina móvil gira hasta que el par magnético correspondiente es equilibrado por el par de tensión del muelle.

Una aguja indicadora, que está unida rigidamente a la bobina móvil, se desplaza a lo largo de una escala graduada, calibrada en las unidades de medida.

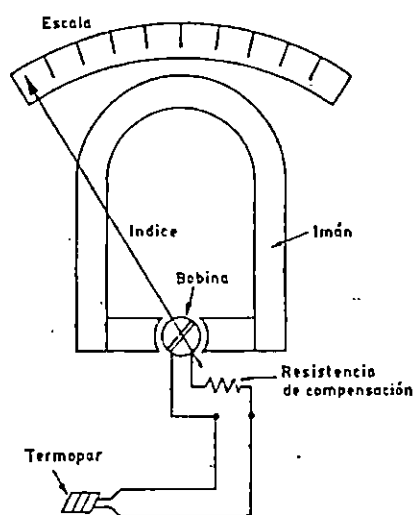


Fig. 2.24 Circuito Galvanométrico.

Circuito Potenciométrico.

Este circuito está representado en la fig. 2.19 y consta de una fuente de tensión constante y que alimenta los dos brazos del circuito con corrientes I_1 y I_2 . En la fig. 2.19, el termopar T está conectado al brazo inferior E y, a través de un miliamperímetro al reostato R. La posición R del cursor del reostato R, indica la temperatura del proceso cuando no pasa corriente por el miliamperímetro, es decir, cuando el punto C del cursor del reostato R y el punto E están a la misma tensión.

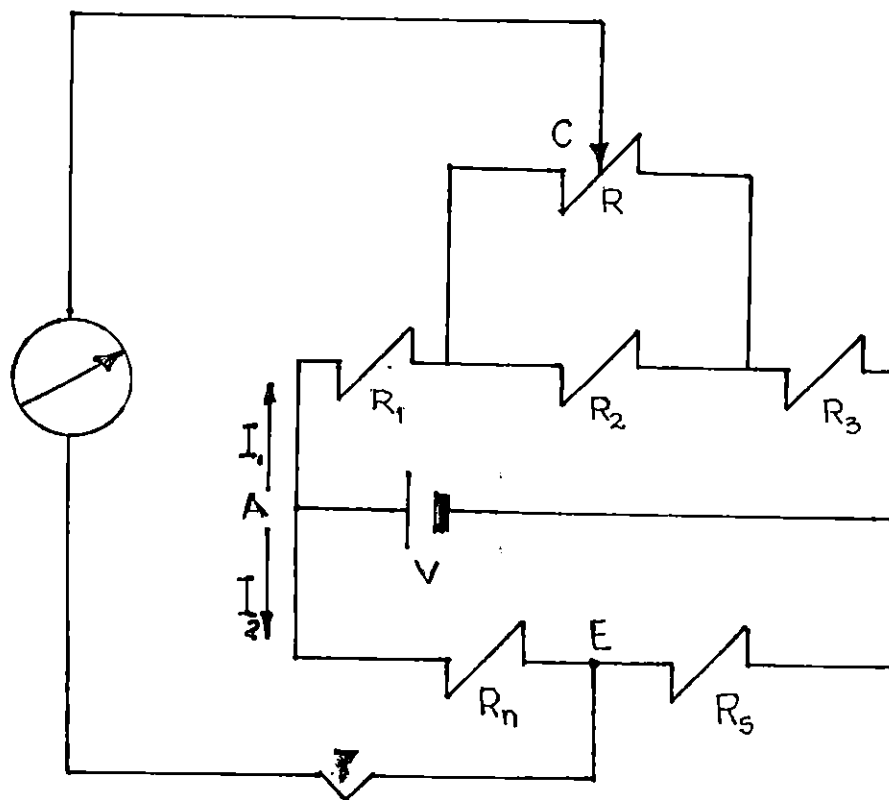


Fig. 2.25 Circuito Potenciométrico

TABLA 2.14 GUIA PARA LA SELECCION DE TUBOS O VAINAS DE PROTECCION. Ref. 13

| INDUSTRIA | APLICACION | TUBO O VAINA |
|-----------------------|---|---|
| Tratamientos térmicos | Recocido Carburación Templado < 700°C 700 a 1100°C > 1100 °C Nitrutación Baños de sales | Inconel o hierro Inconel Hierro forjado Inconel o hierro Cerámico o pirómetro radiación Hierro Inconel, hierro o pirómetro radiación |
| Hierro u acero | Hornos de soplado Hogar Techo Calderas de recuperación Posos de recalentamiento < 1100°C > 1100°C Palanquilla, calentamiento de planchas y soldadura a tope < 1100°C > 1100°C Soldadura fuerte Recocido brillante Forjado Galvanización Baños de decapado Estañado | Inconel o hierro o carburo de silicio Inconel o pirómetro de radiación Pirómetro de radiación Inconel o hierro Inconel o hierro Cerámico o carburo de silicio o pirómetro de radiación Inconel o hierro Cerámico y carburo de silicio o pirómetro de radiación Pirómetro de radiación Termopar tipo J sin tubo de protección o pirómetro de radiación Cerámico y carburo de silicio o pirómetro de radiación Acero o carburo de silicio Plomo Acero dulce o hierro |

continuación...

| INDUSTRIA | APLICACION | TUBO O VAINA |
|---------------------|--|---|
| Metales no férricos | Fundición aluminio Tratamiento térmico del aluminio Fundición latón o bronce Recocido Palanquilla Moldeo Plomo Magnesio Estaño Cinc Fundición y calcinación de mineral | Carburo de silicio o hierro Hierro o sin tubo de protección Metal fundido especial Hierro o sin tubo de protección Inconel o hierro Hierro o carburo de silicio Hierro Acero sin soldadura Acero dulce Carburo de silicio o hierro Inconel, hierro, cerámico o carburo de silicio |
| Cemento | Conductos de salida Hornos | Inconel o hierro Pirómetro de radiación |
| Cerámica | Hornos Soldadores Esmalto vítreo | Cerámico o pirómetro de radiación Hierro Inconel, hierro o pirómetro de radiación |
| Química | | Acero inoxidable en general. Debido a la gran variedad de aplicaciones químicas es difícil establecer recomendaciones |
| Alimentación | | Acero inoxidable |
| Gas | Productor de gas Gas de agua sobrecalentado | Inconel o hierro Inconel o hierro |
| Vidrio | Alimentador Lehr (túnel de recocido) Tanques Conductos de tanques | Platino o pirómetro de radiación Hierro Cerámico o pirómetro de radiación Inconel o hierro |

En la tabla 2.15, se muestra una comparación entre los circuitos galvanométricos y potenciométricos.

TABLA 2.15 COMPARACION ENTRE CIRCUITOS GALVANOMETRICOS Y POTENCIOMETRICOS. Ref. 13

| | GALVANOMETRICO | POTENCIOMETRICO |
|---|---|---|
| Precisión | ± 1 % | ± 0,25 a ± 0,5 % |
| Influencia de las variaciones de resistencia con la temperatura de los cables de compensación | Influye | No influye por no pasar corriente en el momento de la lectura |
| Compensación temperatura ambiente | Espiral bimetalica Termistor | Resistencia de níquel |
| Vibraciones | Desgastan los apoyos de la bobina móvil | Resistente |
| Piezas móviles | Bobina espiral metálica, espiral bimetalica | Motor de equilibrio robusto |
| Posición | Debe ser horizontal | No influye |
| Control | Ampolla de mercurio Microinterruptores Fotoeléctrico Oscilador | Idem con la posibilidad de ser más robustos |
| Calibración | Local-influida por las variaciones de temperatura del cable de compensación Temperatura ambiente en en la caja no compensada perfectamente | Independientemente del cable de compensación. Buena compensación de la temperatura ambiente |
| Intercambiabilidad de campos de medida | Necesario ajustar la resistencia de línea y la resistencia interna | Independientemente de la resistencia de línea Se cambia sólo el circuito impreso de medida |
| Facilidad lectura a distancia | Normal | Facilitada por gran escala |
| Precio | Barato | Mediano o caro |

2.10.1 SELECCION DE LA TERMOCUPLA.

Para seleccionar la termocupla, se tomaron en cuenta ciertos factores que inciden en el funcionamiento de dicho elemento. Estos factores son:

- 1-) La temperatura máxima de operación 1100°C.
- 2-) Se presume que existirá una atmósfera normal a la hora de operación.
- 3-) Tipo de aplicación para el cual será diseñado el horno:
Tratamientos Térmicos.

También se tomaron en consideración, los comentarios descritos anteriormente para cada uno de los tipos, y las características de dichos elementos detallados en las tablas 2.12, 2.13, y la fig. 2.23.

El tipo de termocupla seleccionado es el tipo K, cromel - alumel. El material del tubo de protección se seleccionó de acuerdo al proceso de aplicación, y tomando en cuenta lo detallado en la tabla 2.14, se seleccionó un tubo de Iconel o hierro.

CAPITULO III

DISEÑO DEL HORNO

3.1 ESTRUCTURA METALICA DE UN HORNO

La estructura metálica del horno para tratamientos térmicos, se divide en dos partes, estas son; primero la estructura rígida y estática del horno y segundo la parte articulada de este como es la puerta y sus componentes.

3.1.1 ARMAZON METALICA DEL HORNO.

La estructura metálica del horno se divide en dos partes:

- a) Armazón estructural del soporte: es la estructura que soporta todo el peso del horno, además de absorber todos los esfuerzos internos generados por los cambios de temperatura. Dicha estructura esta fabricada con hierro angular de 38.1 mm x 6.35mm (1 1/2 pulgada x 1/4 pulgada) como se ve en la figura 3.1.
- b) Cubierta metálica: Es la protección metálica que envuelve todo el horno, la función de dicha cubierta es la de proteger y reforzar la estructura principal, para la cubierta se utiliza lámina de hierro de espesor de 3.17 mm (1/8 pulgada).

3.1.1.1 CALCULO DE LA RESISTENCIA DE LAS SOLDADURAS.

En la figura 4.4 se muestra la unión intermedia, compuesta por dos ángulos horizontales con un ángulo de soporte vertical. En dicha unión hay cinco cordones de soldadura : 3 cordones a

tope en cortadura y 2 cordones de ángulo sometidos a compresión.

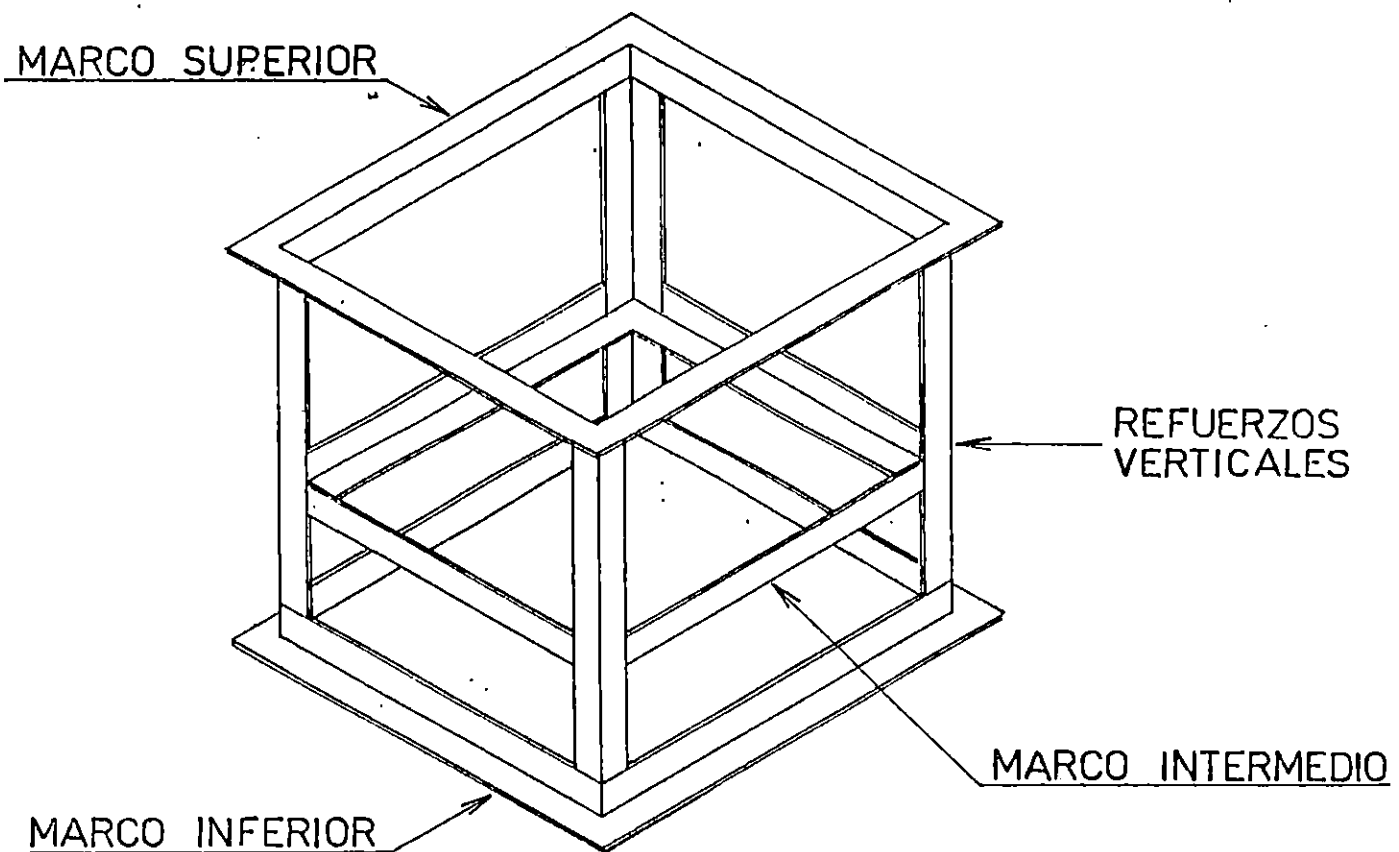


Fig.3.1. Estructura Metálica del horno

Se utiliza en la soldadura un electrodo para acero dulce E6013 con un valor de fluencia de 3860 Kg/cm² (Ref. 18).

Para el cálculo de esfuerzos en la soldadura se utilizan las siguientes fórmulas. (Ref. 19)

$$S_s = 1.414 P/hL \quad (3.1)$$

Donde:

S_s : Esfuerzo cortante en la sección de la garganta

P : Carga aplicable (Peso de la estructura de ladrillo 90.1 Kg)

h : Altura del cordón de soldadura (garganta)

L : Longitud del cordón de soldadura

$$S_s = P/hL \quad (3.2)$$

$$F.S. = 0.5(S_{yp})/S_s \quad (3.3)$$

Donde:

F.S. : Factor de seguridad

S_{yp} : Esfuerzo de límite de fluencia

Datos:

$$P = \frac{P_{total}}{4} = \frac{90.1 \text{ Kg}}{4} = 22.52 \text{ Kg}$$

$$h_{topo} = 0.15 \text{ cm}$$

$$h_{angulo} = 0.20 \text{ cm}$$

$$L_{topo \text{ horizontal}} = 4.0 \text{ cm}$$

$$L_{topo \text{ vertical}} = 7.6 \text{ cm}$$

$$L_{angulo \text{ horizontal}} = 5.0 \text{ cm}$$

Cálculos:

a) Soldadura horizontal

Cordón de soldadura en ángulo sometido a compresión perpendicular a su longitud (Ref. 19, Fig. 7.3d), de la ecuación 3.1.

$$Ss = \frac{1.414 \times 22.52 \text{ Kg}}{0.2 \text{ cm} \times 5 \text{ cm}} = 31.84 \text{ Kg/cm}^2$$

Cordón de soldadura a tope en cortadura (Ref. 19, Fig. 7.3b), de la ecuación 3.2.

$$Ss = \frac{22.52 \text{ Kg}}{0.15 \text{ cm} \times 4 \text{ cm}} = 37.53 \text{ Kg/cm}^2$$

b) Soldadura Vertical.

Cordón de soldadura a tope en cortadura (Ref. 19, Fig. 7.3b), de la ecuación 3.2.

$$Ss = \frac{22.52 \text{ Kg}}{0.15 \text{ cm} \times 7.6 \text{ cm}} = 19.75 \text{ Kg/cm}^2$$

Esfuerzo total en la soldadura:

$$Ss_{\text{total}} = (31.84 + 37.53 + 19.75) \text{ Kg/cm}^2 = 89.12 \text{ Kg/cm}^2$$

De la ecuación 3.3

$$F.S. = \frac{0.5 \times 3860 \text{ Kg/cm}^2}{89.12 \text{ Kg/cm}^2} = 21.65$$

3.1.1.2 DESCRIPCION DE LA ESTRUCTURA

La estructura metálica del horno forma 2 recámaras, la función de cada una es la siguiente:

- a) Recámara superior: es la recámara donde se encuentran el conjunto de ladrillos y el aislante.

Posee las dimensiones siguientes (medidas internas).

ancho = 178 mm

altura = 301 mm

largo = 478 mm.

Esta cubierta con lámina de hierro de 3.17 mm de espesor en las 4 paredes, soldadas a solapa contra el ángulo de la estructura. En el fondo hay una lámina de hierro de 4.76 mm (3/16 de pulgada) y por la parte superior una lámina de 3.17 mm sujeta a la estructura por pernos de 9.52 mm. (3/8 de pulgada).

En la cara frontal hay una ventana con las siguientes dimensiones:

ancho = 200 mm

altura = 190 mm

En todo el perímetro de la ventana se coloca un contramarco con lámina de 3.17 mm. y un ancho de 25 mm.

- b) Recámara inferior esta recámara conserva la misma área, pero una menor altura que la superior. En sus paredes laterales se coloca lámina perforada de 1.58 mm (1/16 de pulgada) de espesor y agujeros con diámetro 6.35 mm (1/4 de

pulgada). En la cara frontal una lámina de 3.17 mm donde se colocan los aparatos de control y en la parte posterior una lámina de 1.58 mm perforada con diámetros de 6.35 mm y sujeta con pernos de 6.35 mm de diámetro.

3.1.2 DESCRIPCIÓN DE PUERTA Y MIRILLA.

La puerta del horno es una caja metálica construida con lámina de 1.58 mm (1/16 de pulgada de espesor, la cual tiene las medidas siguientes: 250 mm x 240 mm x 75 mm (largo x alto x espesor). La cara posterior de la puerta no posee forro metálico, solamente un contramarco con lámina del mismo espesor y un ancho de 25 mm, formando una pestaña interna que detiene las fibras cerámicas que se colocan en su interior.

La puerta es accionada por medio de 2 bisagras colocadas en la parte lateral izquierda, y asegurada por un pasador de leva accionado por una manecilla.

Para la operación de abrir y cerrar la puerta se coloca una manecilla en la parte lateral derecha de la puerta.

La mirilla o agujero de observación, es un agujero colocado en el centro de la cara frontal de la puerta, dicho agujero posee un diámetro de 8 mm. Para evitar que dicho agujero pueda ser una salida de calor de la cámara de calentamiento se coloca una tapadera con lámina de 1.58 mm sujeta a la puerta con un tornillo de diámetro 4 mm.

3.2 PANEL DE CONTROL ELECTRICO.

El pánél de control, es una caja metálica en la cual están ubicados los componentes eléctricos como el control de temperatura, la luz piloto, el interruptor principal y el contactor, tales elementos están conectados correctamente por medio de cables, acomodados convenientemente en el interior.

Todo pánél de control debe estar diseñado de tal forma que pueda facilitar el mantenimiento eléctrico. Existe una serie de hornos industriales que llevan ubicado el pánél de control en la parte inferior y algunos separados de la unidad.

Tomando en cuenta estas posiciones y optando en buscar la forma más conveniente, el pánél de control está unido a la cámara del horno y dispuesto en la parte inferior. Esto se decidió por ser más fácil construir una sola carcaza, y la mayoría de hornos de laboratorio llevan dicho pánél en esa posición.

De acuerdo a lo anterior el pánél de control posee el mismo ancho y profundidad del horno (carcaza), la única dimensión que hay que establecer es la altura, la cual en base al tamaño de los componentes es de 183 mm.

Por lo tanto las dimensiones del pánél son:

Altura = 183 mm

Ancho = 490 mm

Profundidad = 539 mm.

El material de construcción de pánél de control es el

siguiente:

- Lámina de hierro dulce de 3 mm (1/8") de espesor.
- Lámina galvanizada de 1.5 mm (1/16") de espesor con agujeros de 6 mm (¼").
- Angulo de 38 mm x 5 mm (1 ½" x 3/16").

La lámina de hierro dulce y el ángulo son los mismos que se utilizan en la carcasa del horno, esto por que anteriormente se dijo que tanto el horno como el p nel de control forman una sola unidad. La lámina perforada se ha seleccionada para facilitar la visibilidad y evacuación de calor en la base de la cámara.

La lámina de 3 mm (1/8") se usa en la parte frontal, sujeta al ángulo con tornillos de ϕ 6 mm (¼") por 13 mm (½"). La lámina de 1.5 mm (1/16") se utiliza en: Las paredes laterales unidas con puntos de soldaduras a la parte interior del ángulo, y en la parte trasera unidas con tornillos de ϕ 6 mm por 13 mm a la parte exterior del  ngulo.

3.3 RESISTENCIA ELÉCTRICA.

El circuito que calienta el volumen de trabajo está formado por tres resistencias, conectadas en paralelo a la red de 110 voltios.

Las resistencias son diseñadas de acuerdo a criterios y fórmulas para lograr una buena distribución de calor:

- Cálculo de longitud de las espiras.

Para esto se toman en cuenta dos criterios:

1. El diámetro de las espiras debe estar comprendido entre 5 y 8 veces el diámetro del alambre, se toma el valor de 5 veces el diámetro del alambre por la limitante de espacio.
2. El espacio entre una espira y la siguiente debe calcularse a 2.25 veces el diámetro del alambre (ver fig. 3.2)

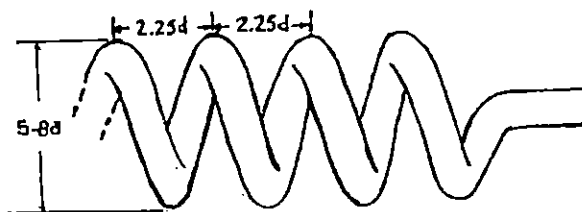


Fig. 3.2. Dimensionamiento de las espiras. (Ref. 9, Cap. 6, pág. 66)

$$D = 5d \quad (3.1)$$

$$S = 2.25d \quad (3.2)$$

$$d_1 = 6d - 2(d) \quad (3.3)$$

$$d_1 = 4d$$

Donde:

D: Diámetro de una Espira en mm.

S: Espacio entre Espira y Espira (paso) mm.

d: Diámetro del Alambre en mm.

d_1 : Diámetro del Mandril en mm.

El análisis se hace para una sola tableta, ya que las 3 son iguales para obtener la misma potencia y un calentamiento uniforme.

De la tabla 2.11 para el Alambre Kantal SWG #16 y un Diámetro de 1.5 mm:

$$R/L = 0.82 \Omega/m \quad A/R = 57.4 \text{ cm}^2/\Omega$$

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

Cálculo De La longitud total de alambre.

De las propiedades del alambre se tiene que:

$$L_T = \frac{6.6\Omega}{0.82\Omega/m} + L_T = 8.05 \text{ m}$$

$$L_T \approx 8.0 \text{ m}$$

De la E.C.3.1:

$$\begin{aligned} D &= 5d \\ &= 5(1.5 \text{ mm}) \end{aligned}$$

$$D = 7.5 \text{ mm}$$

De E.C. 3.3

$$\begin{aligned} d_1 &= 4d \\ &= 4(1.5 \text{ mm}) \end{aligned}$$

$$d_1 = 6 \text{ mm}$$

De E.C.3.2

$$\begin{aligned} S &= 2.25(1.5 \text{ mm}) \\ &= 3.375 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S = 3.4 \text{ mm}$$

De E.C. 3.4: $L = (d_1 + d)\pi$

Donde :L → Longitud de una Espira en mm.

$$\begin{aligned} L &= (6 + 1.5)\pi \\ &= (7.5\text{mm})\pi \end{aligned}$$

$$L = 23.56 \text{ mm}$$

Numero de espiras : N

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

$$\text{Sust. } N = \frac{8000 \text{ mm}}{23.56 \text{ mm}}$$

$$N = 339.56 \text{ Espiras}$$

$$N \approx 340 \text{ Espiras.}$$

DISEÑO DE LA TABLETA PORTA RESISTENCIA.

El número de espiras calculado anteriormente es distribuido en una tableta, la que posee 6 hileras, por la limitante de espacio, con respecto al ancho de la cámara, por tanto:

$$N_p = N/6$$

Donde N_p : Número de Espiras/ Hilera

$$\text{Sust. } N_p = \frac{340}{6} \rightarrow N_p = 56.66$$

$$N_p = 57 \text{ Espiras/hilera.}$$

Para encontrar la longitud de la tableta se multiplicará el número de espiras/hilera por el paso de las espiras:

$$L_{TB} = N_p * S$$

Donde: L_{TB} : Longitud De las Espiras/hilera

N_p : Número de Espiras/hilera

S : Paso de las Espiras

$$L_{TB} = 57 * 3.4$$

$$= 193.4 \text{ mm}$$

$$L_{TB} \approx 194 \text{ mm}$$

Para especificar la longitud final de la tableta se tomará un margen de 16 mm/lado, por tanto:

$$L_F = 194 \text{ mm} + 2 (16 \text{ mm})$$

$$= 194 \text{ mm} + 32 \text{ mm}$$

$$L_F = 226 \text{ mm}$$

DIMENSIONANDO EL ANCHO DE LA TABLETA.

Se sabe que:

El diámetro de la Espira es de 7.5 mm y tomando 1.5 mm de holgura para efectos de dilatación de la resistencia. Entonces el diámetro donde se alojará la Espira tendrá 9 mm., Multiplicando los 9 mm por el número de hileras: $6 * 9 = 54 \text{ mm}$, dejando un espacio de 11 mm entre hilera e hilera tenemos: $54 \text{ mm} + 11 * 5 = 54 \text{ mm} + 55 \text{ mm} = 109 \text{ mm}$, y dejando en ambos extremos 5.5 mm, se obtiene un ancho de: $5.5 * 2 + 109$
 $11 \text{ mm} + 109 \text{ mm} + \text{ancho} = 120 \text{ mm}$.

Para definir el espesor de la tableta se tomará en cuenta el diámetro de la espira que es igual 27.15 mm y los 1,5 mm de holgura que le dará el diámetro donde se alojará la espira este

es igual a 9 mm dejando 5 mm entre de recubrimiento para la resistencia. Para definir el espesor de la tableta se toma en cuenta el diámetro de la espira que es igual; a 7.5 mm y los 1.5 mm de holgura que tiene el diámetro donde se aloja la espira, esto da un valor de 9 mm y 5 mm de recubrimiento para el alambre de la resistencia, finalmente, el espesor es de 14 mm.

Dimensiones finales de la tableta :

120 mm de ancho
226 mm de largo
14 mm de espesor.

NOTA : Todos los cálculos anteriores referentes a la resistencia eléctrica se hicieron para elaborar dichos elementos. Pero debido a que se nos facilitó la obtención de estos ya elaborados, siendo el costo económico aproximadamente igual se optó por comprarlos.

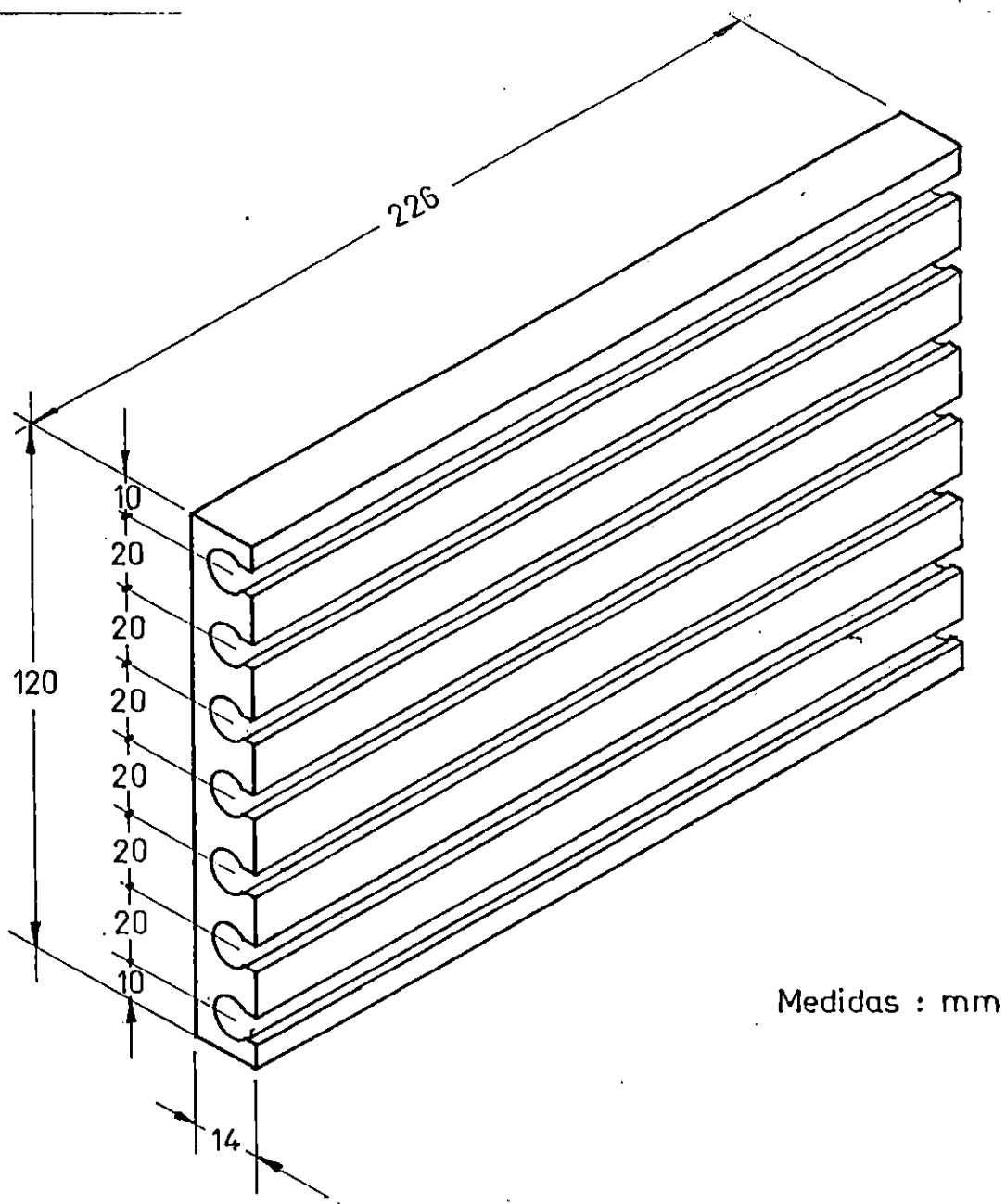


Fig. 3.3. Dimensiones Tableta Porta Resistencias.

3.4 DISPOSICION DE LOS ELEMENTOS DE CONTROL.

Un gran número de hornos industriales llevan el control de temperatura al lado derecho del operador, facilitando así la manipulación del equipo. El interruptor generalmente esta al lado izquierdo o al centro del panel, lo mismo que la luz piloto. A veces la ubicación de dichos componentes es indiferente. En el presente trabajo de graduación se utiliza la forma antes descritas por lo tanto el control de temperatura se encuentra al lado derecho de la lámina frontal, el interruptor de apagado-encendido al extremo izquierdo, y la luz piloto al centro de dicha lámina, ubicando cada elemento en forma simétrica, esto es dividiendo la lámina en cuatro áreas, en donde en cada línea divisora entre área se tomará el centro de cada componente.

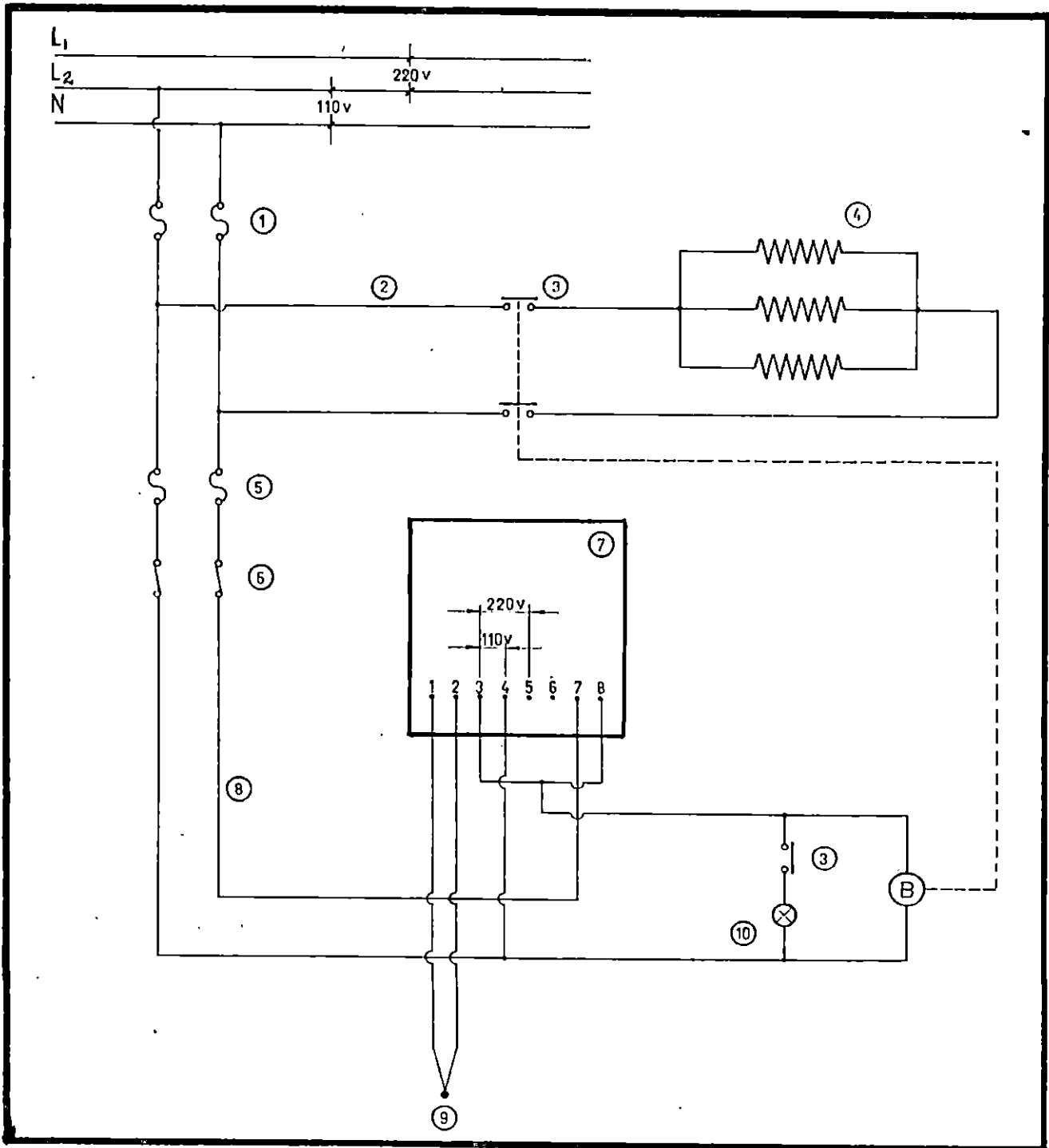
El contactor se ubica en una porción de lámina de hierro de 3 mm de espesor (1/8"), que se sujeta al ángulo de la base del panel con pernos hexagonales de 9 mm (3/8"), facilitando así su montaje y desmontaje cuando se realice mantenimiento eléctrico.

En la lámina trasera se realiza un corte de 26 mm por 62 mm, para colocar la coraza que conduce las líneas conectoras de las resistencias, también se perfora un agujero de 27 mm para hacer pasar el cable que va a la fuente de voltaje. Al tener esto se procede a perforar el ángulo y realizar roscas para

poder sujetar la lámina con tornillos de 6 mm (1/4").

El contactor se coloca en una lámina dentro del panel de control y se ubica dicho contactor a 265 mm del extremo derecho de la lámina. También en dicha lámina se colocan tres porta fusibles, ubicados convenientemente, también se perforan cuatro agujeros para entrada y salida de cables y se suelda una porción de ángulo, que sostendrá un acople para coraza, facilitando así el manipuleo de los cables eléctricos al realizar la instalación. Para sujetar la lámina se doblan dos pestañas de la lámina en donde se perforan los agujeros que la sostienen al ángulo con pernos de 6.35 mm (3/8").

3.5 DIAGRAMA ELECTRICO.



| 10 | 1 | Luz Piloto 110/6 v | | | |
|---|-----|----------------------------|--|-------|------------|
| 9 | 1 | Termocupla | | | |
| 8 | | Alambre de Cu-Asbesto | | | Calibre 6 |
| 7 | 1 | Control de Temperatura | | | 0°-1200° C |
| 6 | 1 | Interruptor ON/OFF | | | |
| 5 | | Fusible 5 Amp | | | |
| 4 | 3 | Resistencia 7KW/ 220 v | Al. Kanthal | | |
| 3 | 1 | Contactor con Bobina 110 v | | | |
| 2 | | Alambre de Cu-Asbesto | | | Calibre 10 |
| 1 | 2 | Fusible 60 Amp. | | | |
| Pos | Can | Denominacion | Material | Norma | Medidas |
| UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA | | | CIRCUITO ELECTRICO DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN HORNO ELECTRICO PARA EFECTUAR LABORA TORIOS DE TRATAMIENTOS TERMICOS | | HOJA No |

CAPITULO IV

PROCESO DE FABRICACION DEL HORNO

4.1 MATERIA PRIMA.

| Nº | DESCRIPCION | CANTIDAD |
|----|---|---------------------|
| 1 | Lámina de hierro 3mm de espesor | 1.20 m ² |
| 2 | Lámina de hierro 1.5mm de espesor | 0.20 m ² |
| 3 | Lámina de hierro 5mm de espesor | 0.25 m ² |
| 4 | Lámina galvanizada perforada 1.5mm esp | 0.28 m ² |
| 5 | Hierro angular de 0.5x3.8 cms | 9 m |
| 6 | Electrodo E6013 de 2.4 cms | 3 Lbs |
| 7 | Electrodo E7018 de 3 mm | 5 Lbs |
| 8 | Disco de corte para concreto de 3x80x25 mm | 4 unidades |
| 9 | Disco de corte para hierro 3x80x25mm | 2 unidades |
| 10 | Hoja de corte sierra de 30x1.3 cms | 4 unidades |
| 11 | Lija para hierro Nº 2 | 4 unidades |
| 12 | Pintura aluminio para alta temperatura | ¼ galón |
| 13 | pernos de 3/8" - Nc de 50 mm de largo | 10 unidades |
| 14 | Ladrillo refractario de 64x114x229 mm | 34 unidades |
| 15 | Mortero refractario | 1 galón |
| 16 | Fibra cerámica de 50mm de espesor | 3 m ² |
| 17 | Tubos cerámicos de ϕ 10 mm | 7 unidades |
| 18 | Resistencia eléctrica de 7 Kw | 3 unidades |
| 19 | Termocupla | 1 unidades |
| 20 | Alambre asbestado calibre Nº 10 | 4 m |
| 21 | Contactor con bobina a 110 V | 1 unidades |
| 22 | Cordón TSJ de 2 hilos calibre Nº 6 | 2 m |
| 23 | Fusibles de 60A | 2 unidades |
| 24 | Fusibles de 5A | 2 unidades |
| 25 | Piloto rojo de 110/6 Voltios | 1 unidades |
| 26 | Toma macho trifásico | 1 unidades |
| 27 | Toma hembra trifásico | 1 unidades |
| 28 | Bisagras | 2 unidades |

4.2 ESTRUCTURA METALICA.

Para la construcción de la estructura metálica se utiliza hierro angular de 38 mm x 4.7 mm (1 1/2 pulgada x 3/16 pulgada).

Para la fabricación de dicha estructura se deben seguir los pasos siguientes:

- 1- Se divide la estructura en 4 partes:
 - a- Marco Superior
 - b- Marco Inferior o base
 - c- Soportes verticales
 - d- Marco Intermedio.
- 2- Para el marco superior se cortan 4 piezas de hierro angular según las medidas siguientes:
 - i- 2 piezas de L=607 mm (laterales)
 - ii- 2 piezas de L=556 mm (frontal y posterior)
- 3- Cada una de estas piezas se cortan en sus extremos a 45°, como se detalla en la figura 4.1.

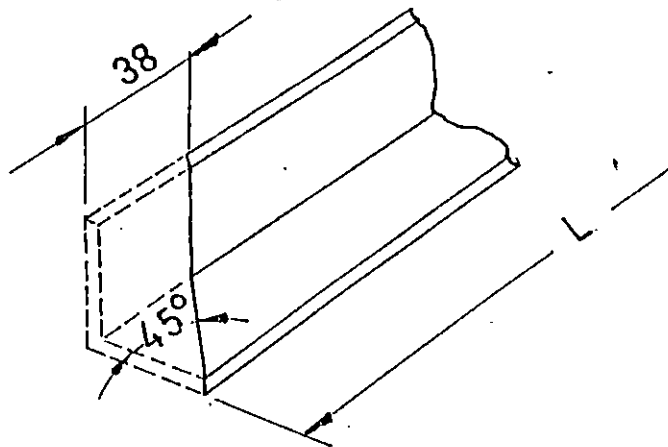


Fig.4:1. Corte a 45° en hierro ángulo para marco superior.

Conservando todas las secciones el valor de longitud de acuerdo al numeral 2.

- 4- Se forma un marco con lados opuestos iguales y la parte inferior de angulo hacia afuera, dicho marco debe poseer sus ángulos internos iguales a 90° , después de puntear todas las uniones se debe proceder a resoldar todos los puntos de unión, el marco terminado se ve en la figura 4.2.

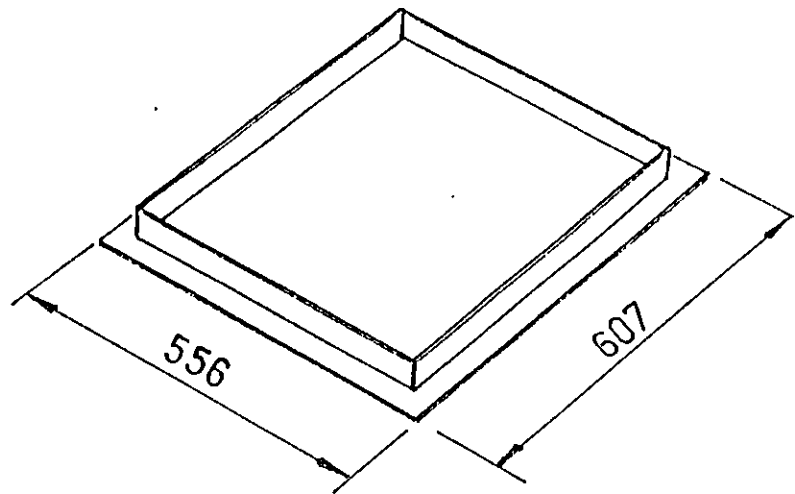


Fig. 4.2 Marco Superior Terminado.

- 5- Para el marco inferior se fabrica repitiendo los pasos indicados en los numerales 2,3 y 4.
- 6- Para la fabricación de los soportes verticales, se cortan 4 piezas de hierro angular de 444 mm de longitud con los extremos perfectamente cortados a 90° .
- 7- Para la fabricación del marco intermedio se cortan 4 piezas

de hierro angular con las medidas siguientes:

- i- 2 piezas de $L = 490$ mm
- ii- 2 piezas de $L = 539$ mm.

8- A cada una de estas piezas se les practica el corte que se muestra en la figura 4.3 en ambos extremos de la pieza.

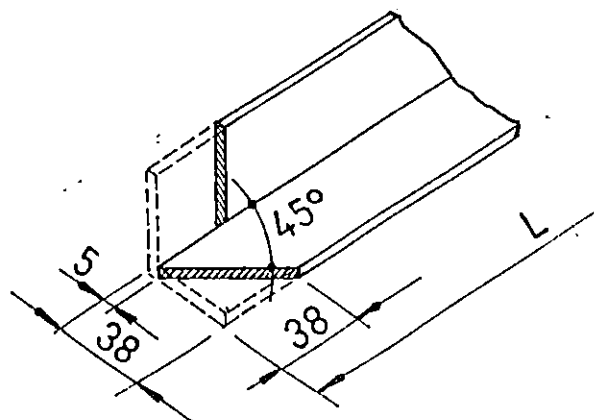


Fig. 4.3. Corte a 45° en extremos piezas para marco intermedio.

9- Se toman los marcos superior e inferior, y en las esquinas de cada uno se colocan los 4 soportes verticales, verificando que estén perpendiculares colocándole puntos de soldadura.

En la parte superior de los soportes se coloca el marco superior siguiendo el mismo procedimiento, después de esto se soldan completamente todos los puntos de unión.

10- Por ultimo se coloca el marco intermedio, este tendrá una altura de 180 mm desde la base hasta el borde inferior de

este marco, el detalle de como se coloca se ve en la Figura 4.4

- 11- Se procede a resoldar todos los puntos de unión, esmerilando por último todos los cordones que dan vista hacia afuera.

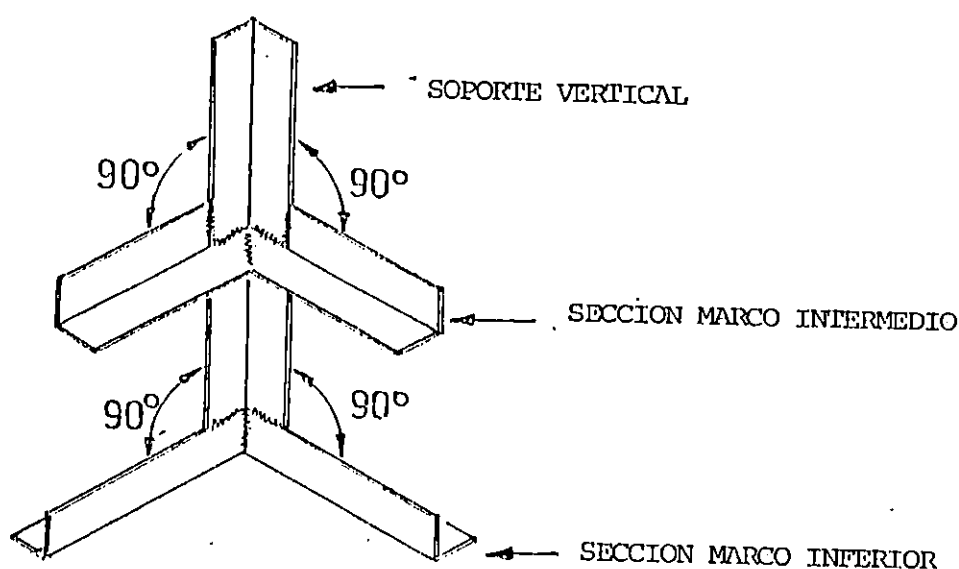


Fig. 4.4. Detalle de colocación de marco intermedio en soporte vertical.

4.3 CUBIERTA PROTECTORA.

Para el proceso de fabricación de la cubierta protectora se hace un análisis para cada recámara en que se divide la estructura del horno. Este se desarrolla en los siguientes pasos:

- 1- Para la recámara superior se corta una sección de lámina de 4.76 mm (3/16 pulgada) de 510 mm x 460 mm, esta lámina esta apoyada en el marco intermedio y no lleva soldadura.
- 2- Se cortan 2 secciones de lámina de 3,17 mm (1/8 pulgada de 510 mm x 310 mm, estas van soldadas a solapa por la parte interior de la estructura.
- 3- Se cortan 2 secciones de lámina de 3.17 mm (1/8 de pulgada) de 460 mm x 310 mm, estas van soldadas a solapa por la parte interior de la estructura.
- 4- A la lámina que se coloca en la parte frontal del horno se le perfora un agujero cuadrado de 200 mm x 190 mm que se utilizara para la puerta del horno.
- 5- La cubierta superior del horno será una lámina de 3.17 mm (1/8 de pulgada) con medidas de 607 mm x 9.5 mm (3/8 de pulgada).

Para la recámara inferior, se coloca protección lateral con una lámina de 1.58 mm (1/16") la cual posee agujeros de diámetro igual a 8 mm.

En la partes posterior se coloca una lámina de 1.58 mm lina donde se perforan agujeros para la entrada y salida de alambres,

y en la parte frontal una lámina de igual espesor donde se colocan los instrumentos de control.

4.4 PAREDES DE LADRILLO REFRACTARIO Y AISLANTE.

En la fabricación de la estructura de ladrillo se utilizan ladrillos de las siguientes dimensiones:

229 mm de largo

114 mm de ancho

64 mm de espesor.

Las dimensiones exteriores de la estructura son de:

456 mm de largo

405 mm de ancho

301 mm de profundidad.

A continuación se presenta el proceso seguido en la obtención de dicha estructura. Toda la estructura fue fraguada con Mortero al Aire.

BASE:

Esta se formó tomando una configuración de 8 ladrillos. 4 con las dimensiones originales y 4 seccionados a 176 mm. de largo. Este corte se realiza con un disco para cortar

concreto montado en una sierra eléctrica. La colocación de dichos ladrillos se muestra en la fig. 4.5a.

HILADA No 1.

Esta estará formada por 4 ladrillos completos los cuales estarán dispuestos: 2 y 2 a lo largo de la estructura y 1 cuyo largo será de 177 mm. el cual nos dará el ancho de la cámara.

Esta disposición se muestra en la fig. 4.5b

HILADA No 2.

Para formar esta hilada se utilizaron 3 ladrillos completos, 2 fracciones de 115 mm y una de 176 mm. Las 2 fracciones de 115 mm y 2 ladrillos completos se utilizaron para formar, las 2 paredes laterales que en su longitud son el largo de la cámara. El otro ladrillo completo y la fracción de 176 mm se unen para formar el fondo de la estructura. Esto se muestra en la figura No 4.5c.

HILADA No 3:

Toda la hilada tiene un espesor de 45 mm a diferencia de todas las anteriores que tienen 64 mm. Esta está formada por 4 ladrillos de: 229 x 114. A dos de estos se les hizo un corte en forma de "L" de 25 mm x 33 mm a todo su largo, y a los otros dos a 115 mm de su largo. El motivo de este corte es para poder ubicar la tableta porta resistencia en la parte superior.

También se utilizaron 4 secciones de 33 x 229 mm y finalmente se colocó un tramo de 110 mm x 114 mm, para completar la parte trasera de la estructura.

Esta disposición se puede visualizar en la fig. 4.5d.

TECHO:

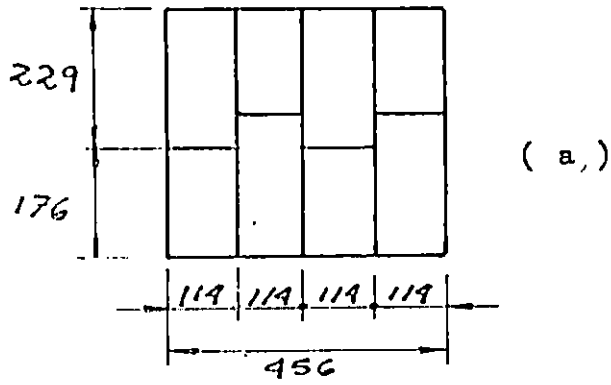
El techo está formado por cuatro ladrillos completos los cuales están dispuestos a su ancho para formar el largo de la cámara de la estructura. Para formar el ancho, se colocan 4 tiras de 88 x 229 mm, esta configuración se puede apreciar en la fig. 4.5e.

AISLANTE.

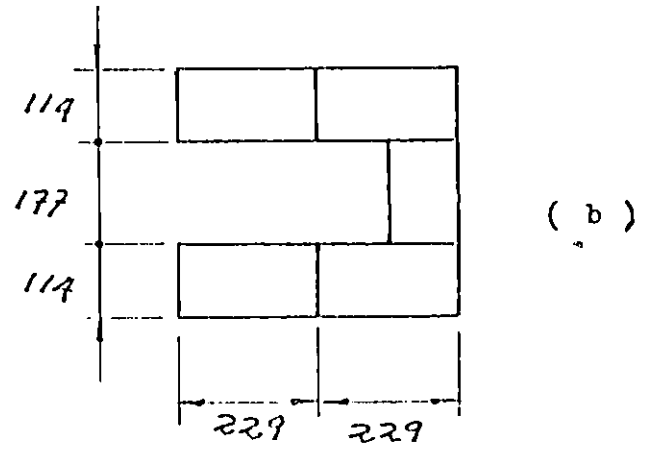
La estructura de ladrillo refractario está recubierta por un material aislante denominado fibra cerámica, la cual posee diferentes espesores, para nuestro trabajo se utiliza una fibra de 2" de espesor, para alojarlo en un espacio de:

- 33.5 mm en los costados
- 33 mm en la parte frontal y trasera
- 12 mm en la base y
- 15 mm en la parte superior.

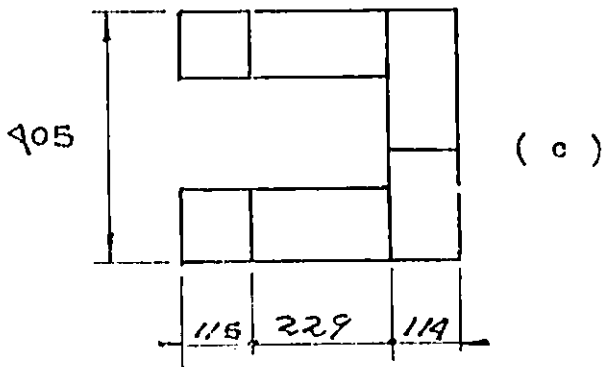
1- BASE



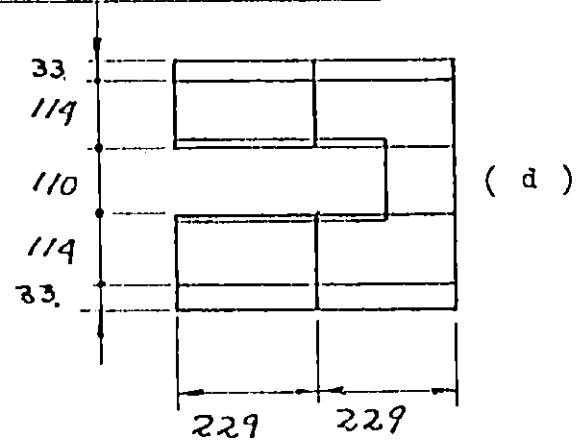
2- PRIMERA HILADA



3- SEGUNDA HILADA



4- TERCERA HILADA



5- TECHO

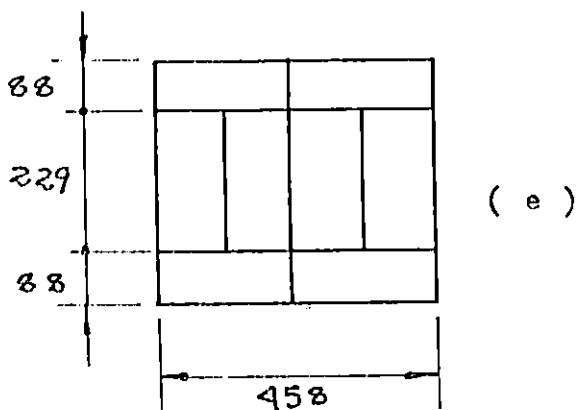
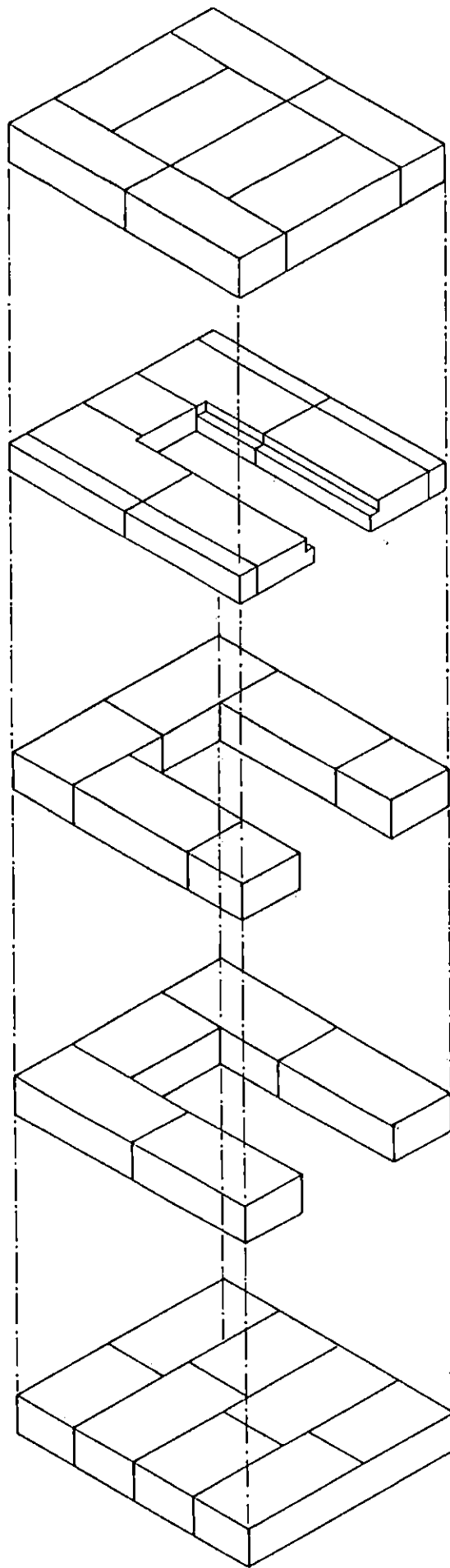


FIGURA 4.5 DETALLE DE ARREGLOS DE LADRILLO REFRACTARIO DE TODO EL HORNO ELECTRICO. DIMENSIONES EN MILIMETROS.

Fig. 4.6 Vista isométrica de la figura 4.5



4.5 PANEL DE CONTROL ELECTRICO

La construcción del panel de control, se realiza conjuntamente con la armazón metálica del horno, por estar integrada a la mismo. Por tanto, primero se realiza la estructura de ángulo de la manera descrita en el numeral 4.2 prosiguiendo con cubrir la estructura del panel de control con porciones de lámina, de las dimensiones siguientes;

| Lámina (mm espesor) | Lado | Dimensiones (mm * mm) |
|-------------------------------------|----------------------|----------------------------|
| Hierro dulce (3) | Frente y adentro | 190 * 456 |
| Galvanizada perforada (1.5) | Lateral y trasero | 183 * 539 170 * 470 |

Nota: Todos los cortes se realizaran con disco para metal.

Las láminas laterales se sujetaran al ángulo con puntos de soldadura eléctrica distribuidos simétricamente. Luego se procederá a realizar los respectivos cortes en la lámina frontal, para ubicar, el control de temperatura, la luz piloto el interruptor de encendido-apagado y un porta fusible, teniendo esto se sujeta cada elemento en su lugar, luego se marcaran y perforaran los agujeros en la lámina, y el ángulo, haciendo rosca a los agujeros del ángulo, finalizando con fijar dicha lámina con tornillos, al ángulo.

En la parte trasera se coloca una porción de lámina galvanizada- perforada, a la cual se le realiza un corte de 25.6 mm x 62 mm, para colocar la coraza que conducen las líneas conectoras de las resistencias, también se perfora un agujero de 27 mm. para hacer pasar el cable que va a la fuente de voltaje. Al tener esto se procede a perforar el ángulo y realizar rosca para poder sujetar la lámina con tornillos, al ángulo.

El contactor se coloca en una lámina que va adentro del panel de control y se ubica dicho contactor a 265 mm del extremo derecho de la lámina, también en dicha lámina se colocan tres porta fusibles, ubicados convenientemente, también se perforan cuatro agujeros para entrada y salida de cables y se soldará una porción de ángulo que contendrá un acople para coraza, facilitando así el manipuleo de los cables eléctricos a realizar la instalación. Para sujetar la lámina se doblaran dos pestañas de la misma en donde se perforan los agujeros que la sostendrán.

a) ángulo con pernos de 9,5 mm (3/8")

También para proteger la conexión de las resistencias, se elaborará una cubierta con la lámina galvanizada que tendrá 200 mm x 207 mm x 37 mm con pestañas de 25 mm a cada lado las cuales se sujetarán al ángulo con tornillos de 6 mm (¼")

4.6 MATRIZ DE COSTOS.

| CANT | DESCRIPCION | COSTO UNIT. ₡ | <u>COSTO</u> <u>TOTAL</u> ₡ |
|------|--|---------------------|-----------------------------------|
| 1 | Pliego de lámina hierro de 0.3x99x198 cms | 400 | 400 |
| 1 | Pliego de lámina hierro de 0.15x99x198 cms | 200 | 200 |
| 1 | Pliego de lámina hierro de 0.5x99x198 cms | 550 | 550 |
| 1 | Lámina galvanizada perforada de 0.15x99x198 cms | 250 | 250 |
| 2 | Angulo de 0.5x3.8x600 cms | 200 | 200 |
| 2 | Bisagras | 25 | 50 |
| 3 | Lbs de electrodos E6013 de ϕ 2.4 mm | 7 | 21 |
| 5 | Lbs de electrodo E7018 de ϕ 3 mm | 10 | 50 |
| 4 | Disco de corte concreto de 3x80x25 mm | 30 | 120 |
| 2 | Disco de corte para hierro de 3x80x25 mm | 25 | 50 |
| 4 | Sierras para hierro de 30x1.3cm | 7 | 28 |
| 4 | Pliegos de lija N°2 para hierro | 2 | 8 |
| 4 | Galón de pintura Aluminio | 300 | 75 |
| 10 | Pernos de 3/8" Nc largo 50mm | 2 | 20 |
| 34 | ladrillos refractarios de 64x114x229 mm | 17 | 578 |
| 1 | Galón de Mortero Refractario | 80 | 80 |
| 3 | m² de fibra cerámica de 50 mm de espesor | 167 | 501 |
| 7 | Tubos de cerámica de ϕ 10 mm | 5 | 35 |
| 3 | Resistencia de 7 Kw/220 V | 1500 | 4500 |
| 1 | Termocupla | 1300 | 1300 |
| 4 | mts de alambre asbestado calibre N° 10 | 25 | 100 |
| 1 | Contactador con bobina a 110 V | 600 | 600 |
| 2 | mt de cordón TSJ de 2 hilos calibre N° 6 | 100 | 200 |
| 2 | Fusibles de 60 A | 75 | 150 |
| 2 | Fusibles de 4 A | 35 | 70 |
| 1 | Piloto color rojo de 110/6 Vol | 100 | 100 |
| 1 | Toma hembra trifásico | 45 | 45 |
| 1 | Toma macho trifásico | 45 | 45 |
| 200 | Horas-hombre | 10 | 2000 |
| | TOTAL | | 12,326 |

CAPITULO V

DETERMINACION EXPERIMENTAL
DE LOS PARAMETROS DEL HORNO

5.1 CURVA DE CALENTAMIENTO

La curva de calentamiento de un horno nos muestra el comportamiento característico de la variación de la temperatura contra el tiempo.

En base a esta curva se puede establecer el tiempo necesario para alcanzar una determinada temperatura.

Para la elaboración de dicha curva, se realizó el siguiente procedimiento:

- 1- Se fijó un incremento de temperatura igual a 50°C, y una temperatura inicial de 50 °C
- 2- Se tomo el tiempo que el horno tardó en alcanzar dicho valor de temperatura.
- 3- Se incrementó nuevamente la temperatura en 50°C y se tomó el tiempo que tardó en este nuevo periodo.
- 4- Este procedimiento se repite hasta obtener la cantidad suficiente de puntos para la elaboración de la curva.

Todos los valores tomados aparecen en la tabla 5.1

Tabla 5.1 Datos para la elaboración de la curva de calentamiento

| | | | | | | | | |
|-----------------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
| TEMPERATURA(°C) | 55 | 110 | 165 | 220 | 275 | 330 | 385 | 440 |
| TIEMPO (MIN.) | 1.36 | 3.27 | 5.07 | 6.78 | 8.74 | 10.82 | 12.77 | 14.73 |

| | | | | | | | | |
|------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|
| 495 | 550 | 605 | 660 | 715 | 770 | 825 | 880 | 935 |
| 16.9 | 19.21 | 22.29 | 26.29 | 32.20 | 40.1 | 52.02 | 66.33 | 81.26 |

En la Fig. 5.1 se muestra la curva de calentamiento del horno.

5.2 POTENCIA CONSUMIDA.

La potencia consumida es la cantidad de energía requerida para lograr y mantener las diferentes temperaturas de trabajo, durante un período de tiempo aproximado de una hora. Tiempo promedio en el cual se puede realizar un tratamiento térmico.

La potencia consumida esta representada por la figura 5.2, donde el eje de las ordenadas representa las diferentes temperaturas y el de las abcisas los kilowatt-hora consumidos. En dicho gráfico se observa una tendencia lineal, la cual indica que a medida que la temperatura aumenta también aumenta el consumo de potencia.

Para obtener el gráfico se realizo el siguiente procedimiento:

- 1- Se fijó una temperatura de nicio igual a 100°C y con incrementos de temperatura de 100°C
- 2- Se tomó el tiempo (t_0) que el horno tardó en alcanzar dicho valor de temperatura, estos tiempos se presentan en la tabla 5.2.
- 3- Se tomó el tiempo de encendido (ON) y apagado (OFF) para

cada periodo. Los tiempos de encendido (ON) son los periodos en los cuales se esta reponiendo el calor perdido, y los tiempos de apagado (OFF) son los periodos en los cuales no hay suministro de energia y se estabiliza la temperatura dentro del horno. En la tabla 5.3, se presentan los tiempos de encendido y apagado para las diferentes temperaturas.

- 4-- Se calculó el promedio de los tiempos de apagado y encendido para cada valor de temperatura.
- 5- Se sumó el tiempo promedio de encendido (t_{ON}) más el tiempo promedio de apagado (t_{OFF}).
- 6- Se procedió a calcular el número de periodos en el lapso de una hora, por medio de la ecuación 5.1:

$$X = \frac{3600}{t_{ON} + t_{OFF}} \frac{\text{seg}}{\text{seg}} \quad \text{Ec. 5.1}$$

Donde:

- x = Número de periodos existentes en una hora
- t_{ON} = Tiempo promedio de encendido.
- t_{OFF} = Tiempo promedio de apagado.

- 7- El tiempo de encendido viene dado por la ecuación 5.2

$$t = t_o + X. t_{ON} \quad \text{Ec. 5.2}$$

Donde:

t = Tiempo total de encendido durante una hora

t₀ = Tiempo inicial para alcanzar un valor específico de temperatura.

- 8- Teniendo el tiempo total de encendido (t) para cada valor de temperatura, este se multiplica por el valor de potencia de trabajo: 5.5 kw, con lo cual se obtienen los valores de kw- hora consumidos en el lapso de una hora, para cada valor de temperatura, estos valores se muestran en la tabla 5.4.

Tabla 5.2 Tiempos iniciales para alcanzar un valor específico de temperatura.

| TEMPERATURA (°C) | TIEMPO (Seg) |
|------------------|--------------|
| 110 | 128 |
| 220 | 283 |
| 330 | 461 |
| 440 | 651 |
| 550 | 872 |
| 660 | 1163 |
| 770 | 1483 |
| 880 | 2378 |

TABLA 5.3. TIEMPOS DE ENCENDIDO Y APAGADO

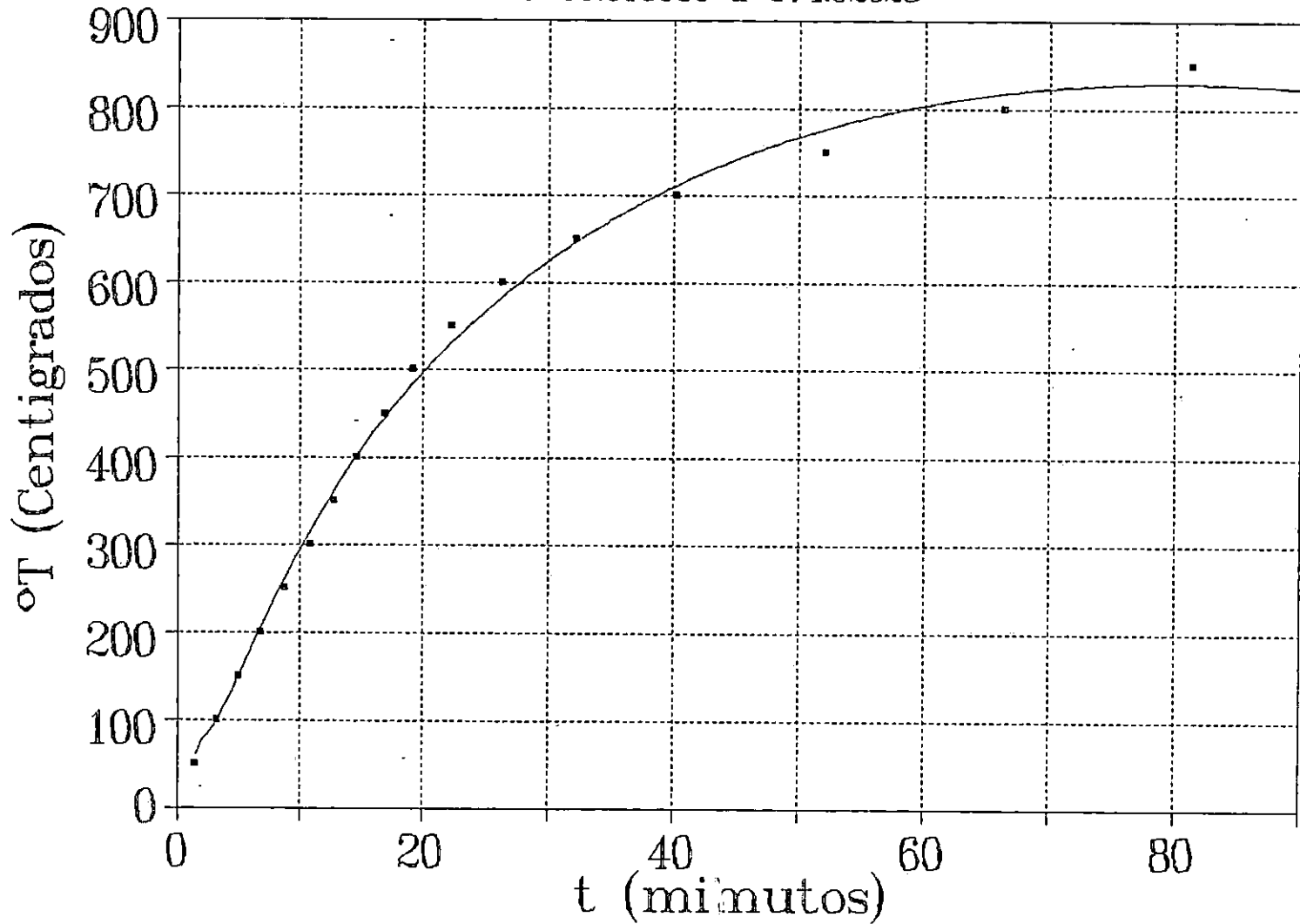
| T °C | 110 | | 220 | | 330 | | 440 | | 550 | | 660 | | 770 | | 880 | |
|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | ON | OFF | ON | OFF | ON | OFF | ON | OFF | ON | OFF | ON | OFF | ON | OFF | ON | OFF |
| | 33 | 249 | 51 | 161 | 61 | 96 | 48 | 44 | 47 | 36 | 66 | 17 | 69 | 16 | 111 | 12 |
| | 36 | 246 | 49 | 162 | 65 | 94 | 46 | 49 | 50 | 28 | 59 | 20 | 65 | 17 | 91 | 12 |
| | 37 | 250 | 47 | 159 | 63 | 95 | 44 | 52 | 44 | 28 | 48 | 24 | 61 | 18 | 76 | 13 |
| | 30 | 247 | 50 | 158 | 57 | 90 | 45 | 55 | 45 | 29 | 44 | 25 | 59 | 19 | 80 | 12 |
| | 31 | 252 | 46 | 157 | 55 | 91 | 47 | 53 | 43 | 31 | 42 | 27 | 57 | 21 | 76 | 14 |
| | 32 | 250 | 47 | 155 | 54 | 90 | 44 | 52 | 42 | 32 | 42 | 26 | 55 | 22 | 77 | 13 |
| | 30 | 250 | 49 | 159 | 59 | 93 | 46 | 51 | 45 | 31 | 51 | 23 | 56 | 21 | 79 | 12 |
| t | 33 | 249 | 159 | 159 | 59 | 93 | 46 | 51 | 45 | 31 | 50 | 23 | 60 | 19 | 84 | 13 |

TABLA 5.4. DATOS PARA GRAFICA DE CONSUMO DE POTENCIA

| TEMPERATURA °C | TIEMPO (t) seg | KW-hr |
|-------------------|-------------------|-------|
| 110 | 549 | 0.84 |
| 220 | 1118 | 1.71 |
| 330 | 1058 | 2.84 |
| 440 | 2358 | 3.60 |
| 550 | 3003 | 4.59 |
| 660 | 3629 | 5.54 |
| 770 | 4222 | 6.45 |
| 800 | 5492 | 8.40 |

CURVA DE CALENTAMIENTO

$r^2=0.997031839$ FitStdErr=15.2606177 Fstat=1455.60561
Rank 80 Eqn 2457 $y=a+bx\sqrt{x}+c(\ln x)^2+d\ln x/x^2$
a=-53.668463 b=-0.54161881
c=66.095959 d=574.92028



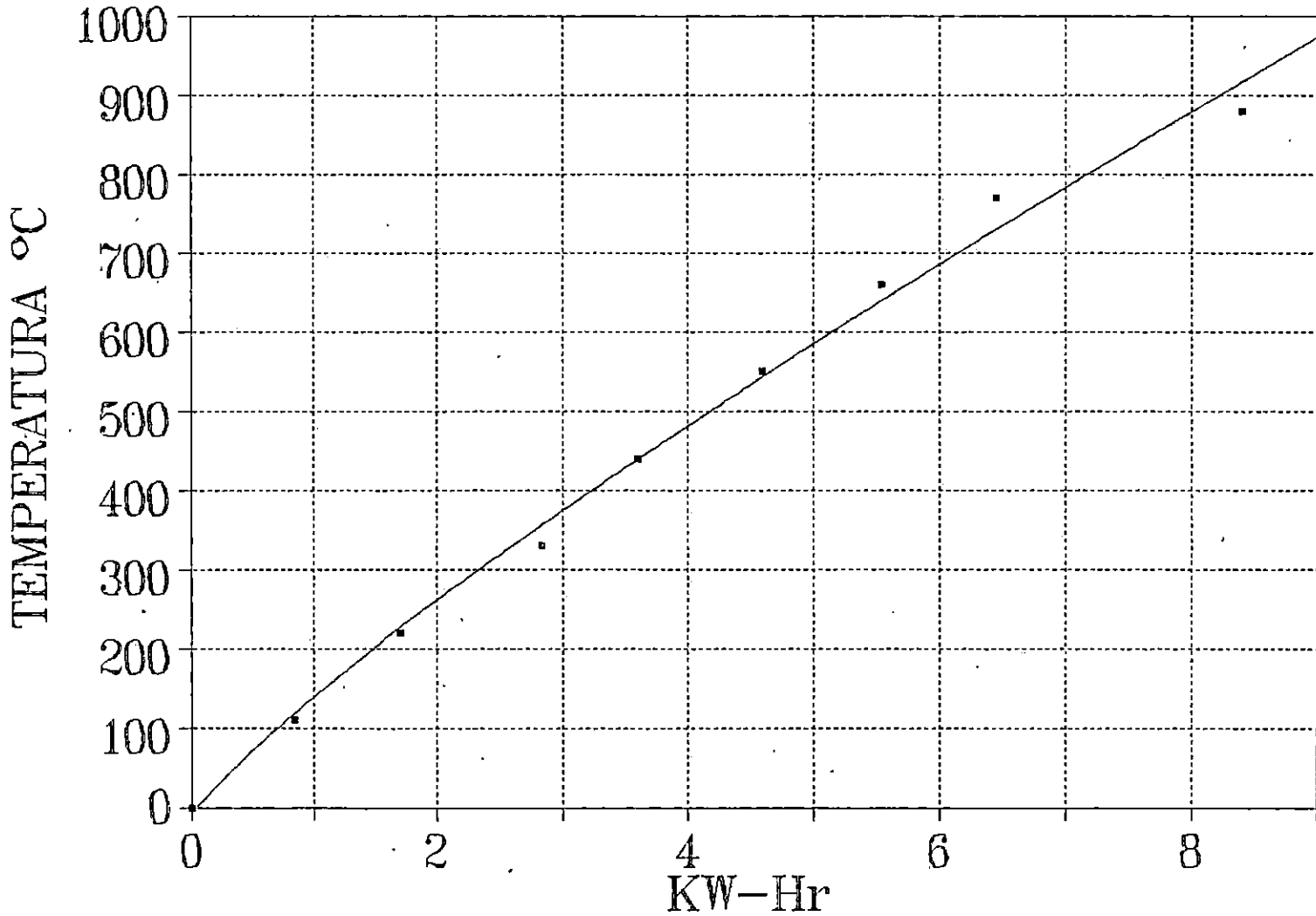
CONSUMO DE POTENCIA

$r^2=0.993886797$ FitStdErr=27.1973817 Fstat=487.741102

Rank 68 Eqn 8010 $y=a+bx^c$ [Power]

$a=-11.567533$ $b=151.13365$

$c=0.85316277$



5.3 TEMPERATURA DE OPERACION

La temperatura de operación se puede llegar a establecer de acuerdo al siguiente criterio:

Es la temperatura promedio a la que se realizan los tratamientos térmicos para aceros al carbono.

En este trabajo la temperatura de operación se establece como el promedio de las temperaturas de 850°C y 900°C, obteniéndose un valor de temperatura de 875°C.

Entre las ventajas que se encuentran al utilizar el horno a este valor de temperatura tenemos: una mayor vida útil de los elementos calefactores y del equipo de medición que son los más valiosos.

5.4 MANTENIMIENTO Y OPERACION

Para un buen funcionamiento y una mayor vida útil del horno, es necesario un buen plan de mantenimiento de tal forma que se pueda lograr una operación adecuada y corregir las fallas cuando estas se presenten.

Durante el funcionamiento y operación del horno se pueden presentar fallas, las cuales pueden atribuirse a errores humanos o desperfectos en el equipo.

A continuación se presenta una serie de problemas, la posible causa y la corrección del problema.

| PROBLEMA | POSIBLE CAUSA | ACCION CORRECTA |
|---------------------------------|---|---|
| - La luz piloto no enciende | - El horno no está conectado a la fuente de energía | - Revisar la conexión a la fuente de energía |
| | - Interruptor ON -OFF defectuoso | - Reemplazo del interruptor |
| - El horno no proporciona calor | - No hay energía | - Revisar la fuente de energía o los fusibles |
| | - Termocupla desconectada o conexión inversa | - Reemplazar la termocupla o revisar la conexión de la termocupla |
| | - Mal funcionamiento del control de temperatura | - Verificar y corregir los parámetros y valores de la configuración, si la falla persiste eliminar el control |
| | - Elemento calefactor | - Reemplazo de la unidad |
| - Baja cantidad de calor | - Línea de voltaje baja | - Instalar una línea con el tamaño adecuado del cable con respecto al voltaje |
| | - Demasiado carga en la cámara | - Disminuir la carga en la cámara para permitir la circulación de calor |
| | - Elemento calefactor equivocado | - Instalar el elemento calefactor apropiado |

Continuación

| PROBLEMA | POSIBLE CAUSA | ACCION CORRECTA |
|----------------------|--|--|
| - Lectura incorrecta | - Termocupla oxidada o contaminación | - Reemplazo de la termocupla |
| | - Mala conexión de la termocupla | - Apretar las conexiones |
| | - Ventilación defectuosa en la base | - Limpiar alrededores de la base |
| | - Conexión incorrectas o invertidas de la termocupla | - Conectar correctamente la termocupla |

Algunos elementos del horno están más propensos a deteriorarse y en muchas ocasiones es necesario reemplazarlos. Dichos elementos son: Los elementos calefactores o tabletas, termocupla y el control de temperatura.

A continuación se detalla el procedimiento para su reemplazo:

- 1- Reemplazo de los elementos calefactores.
 - a) Desconectar el horno de la fuente de energía.
 - b) Remover la cubierta protectora trasera.
 - c) Identificar los terminales de la unidad dañada
 - d) Desconectar dichos terminales
 - e) Abrir la puerta y sacar la tableta dañada
 - f) Colocar el nuevo elemento en el lugar correspondiente introduciendo sus terminales por los tubos de

porcelana.

- g) Conectar las terminales de la unidad calefactora
 - h) Colocar la tapa de protección y conectar el horno.
- 2- Reemplazo de la Termocupla.
- a- Desconectar el horno de la fuente de poder
 - b- Remover la tapa posterior de protección
 - c- Sacar la termocupla y desconectar los terminales del control de temperatura
 - d- Colocar la nueva termocupla a través del tubo cerámico y dejar el extremo fuera de la pared aproximadamente 25 mm.
 - e- Verificar que los terminales estén conectados correctamente
 - f- Colocar la tapa de protección y conectar el horno.
- 3- Reemplazo de control de temperatura
- a- Desconectar el horno de la fuente de poder
 - b- Quitar pernos de la tapadera de control
 - c- Desconectar terminales
 - d- Quitar pernos de sujeción del control de temperatura
 - e- Reemplazar el control de temperatura por uno nuevo
 - f- Colocar pernos de sujeción
 - g- Conectar los terminales al control de temperatura
 - h- Colocar la tapadera de control
 - i- Conectar el horno a la fuente de energía.

OPERACION DEL HORNO.

- 1- Antes de poner el horno en operación es necesario eliminar la humedad almacenada en la estructura de ladrillos. Esta humedad puede originarse en un horno cuando esta recién construido o en un horno que no ha sido usado por un largo período. Para eliminar esta humedad debe abrirse la puerta del horno ligeramente y eliminar cualquier objeto que pueda haber en la cámara, luego encender el horno a 50°C por un período de 2 horas, en este lapso sale toda la humedad almacenada en forma de vapor, este procedimiento se repite para 100°C y 200°C.
- 2- La unidad debe ser colocada en una superficie plana y uniforme.
- 3- No colocar el horno cerca de fuentes de calor o frío.
- 4- El horno debe colocarse lo mas cerca posible de la fuente de energía eléctrica.
- 5- Usar el voltaje indicado en la placa de servicio.
- 6- Al manipular los aparatos de control debe tenerse mucho cuidado.

5.5 GUIAS DE LABORATORIO.

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

PRACTICA Nº 1
RECOCIDO Y NORMALIZADO

OBJETIVO: Estudiar la microestructura de acero al carbono con contenidos de carbono 0.2%, 0.45%, 0.6%, 0.8% y 1.0%.

MATERIAL Y EQUIPO A UTILIZAR

- Muestras de acero de 0.2%, 0.45%, 0.6%, 0.8% y 1.0% de C.
- Horno de tratamiento térmico
- Tenazas, guantes de cuero, delantal protector
- Embutidora
- Lija, Alúmina, Nital
- Microscopio.

MARCO TEORICO

En una serie de aceros al carbono enfriados lentamente, al aumentar el contenido de carbono disminuye el porcentaje de ferrita libre al acercarse a la composición eutectoide y desaparece al llegar a esta. Más allá de la composición

eutectoide, la matriz es cementita libre, a medida que se incrementa el contenido de carbono, aumenta la cantidad de cementita libre. Este comportamiento puede predecirse a partir del diagrama de hierro-carburo de hierro, y las cantidades de la fase de la matriz y la perlita pueden calcularse gracias a ese diagrama. Los resultados previstos se verifican mediante una comparación de los aceros al carbono enfriados lentamente, con los resultados calculados.

Normalmente el estado de entrega de los aceros al carbono es el recocido, entendiéndose como recocido al calentamiento a una temperatura adecuada y luego un enfriamiento lento a lo largo del intervalo de transformación. Para los aceros hipoeutectoides, la temperatura de recocido es de aproximadamente 10°C por encima de la línea crítica inferior.

El normalizado es un calentamiento a una temperatura de 37°C por encima de la línea crítica superior para los aceros hipoeutectoides e hipereutectoides seguido de un enfriamiento al aire quieto.

PRELABORATORIO

- Calcular los porcentajes de ferrita proeutectoides, cementita y el porcentaje de perlita para los aceros con 0.25, 0.45%, 0.6% 0.8 y 1.0% de C, a partir del diagrama Fe-Fe₃C
- ¿Cómo se ven afectadas las propiedades mecánicas de los aceros al carbono recocidos al darles un normalizado?.

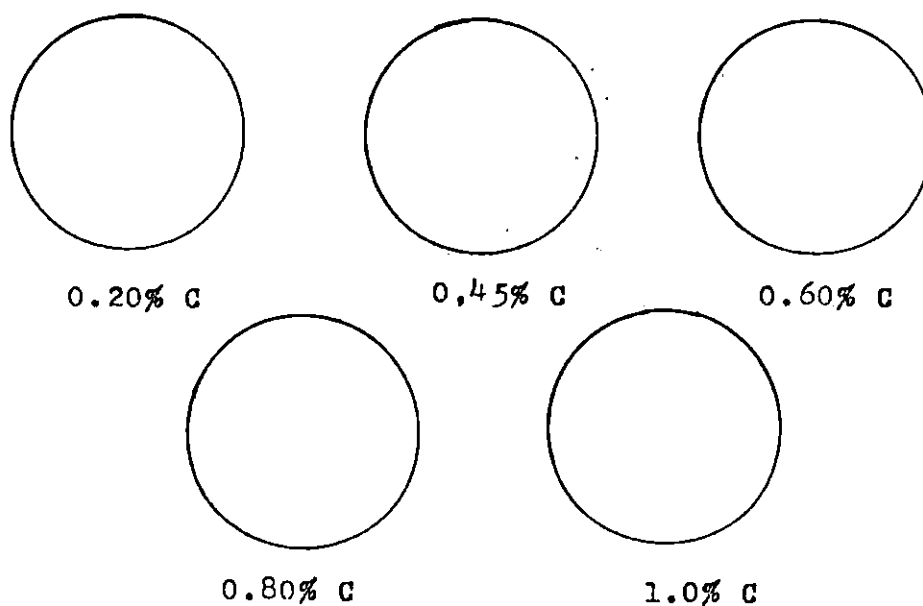
Investigar.

OBSERVACION: Si el horno ha dejado de funcionar durante un periodo largo repita el proceso de secado.

PROCEDIMIENTO

1. Encienda el horno girando la perilla de encendido, asegúrese que la perilla del selector de temperatura esté en 0°C.
2. Gire la perilla del selector de temperatura hasta que indique 50°C espere el calentamiento y luego repita el procedimiento con incrementos de 50°C hasta llegar a la temperatura de recocido o normalizado.
3. Utilizando guantes, delantal protector y tenaza introduzca las muestras y déjelas durante un tiempo determinado a la temperatura del paso 2. Considérese una hora de permanencia por cada 25 mm de diámetro.
4. Saque aquellas muestras que se les dará normalizado y déjelas enfriar en aire quieto, luego límpielas.
5. Preparar las muestras por medio de la metalografía y luego dibujar las microestructuras vistas en el microscopio.

Llenar los círculos que aparecen mas adelante tal como se ve en el microscopio, dibujando las características estructurales al mismo tamaño que se aprecian.



A partir de sus propios bosquejos, estimar el porcentaje de perlita y los porcentajes de cementita proeutectoide. tomar como base el diagrama hierro-carburo de hierro y calcular los porcentajes de perlita, ferrita proeutectoide y cementita proeutectoide para cada una de las composiciones dibujadas.

| % C | VALORES ESTIMADOS % PERLITA, % MATRIZ | VALORES CALCULADOS % PERLITA, % MATRIZ | PERLITA (VERIFICADA) % FERRITA, %CEMENTITA |
|------|---|--|--|
| 0.2 | | | |
| 0.45 | | | |
| 0.60 | | | |
| 0.80 | | | |
| 1.00 | | | |

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

PRACTICA No 2
" TEMPLE Y REVENIDO "

OBJETIVOS:

- APLICAR EL PROCEDIMIENTO DE TEMPLAR Y REVENIR EL ACERO
- MEDIR EL GRADO DE DUREZA OBTENIDO Y COMPARARLO CON LA DUREZA ESPERADA.

EQUIPO Y MATERIAL

- HORNO PARA TRATAMIENTO TERMICO
- TENAZA PARA SUJETAR PIEZAS CALIENTES
- GUANTES DE CUERO
- DELANTAL PROTECTOR
- DUROMETRO ROCKWELL
- MUESTRAS DE ACERO

MARCO TEORICO;

TEMPLE:

Este se aplica para aumentar la dureza y resistencia del acero, la cual se logra por la formación de una solución

sobresaturada llamada martensita. Dependiendo del tipo de acero, este se lleva a determinada temperatura, se mantiene el tiempo necesario a dicha temperatura y luego se enfría rápidamente, generalmente en agua o aceite.

REVENIDO:

Es aplicado al acero cuando este ha sido templado y consiste en calentar dicho acero a temperaturas menores que la crítica inferior, manteniéndolo un tiempo adecuado y luego enfriarlo a temperatura ambiente, esto con el objetivo de mejorar la ductilidad y tenacidad del acero.

En el revenido se transforma parte de la estructura martensítica en otras que involucran un cambio importante en las propiedades mecánicas; comprende dos etapas bien definidas:

- La primera, abajo de los 204°C , si el principal requisito es la dureza o resistencia al desgaste.
- La segunda arriba de los 204°C , si lo que se quiere es un aumento en la tenacidad y poca dureza.

PRELABORATORIO

Investigar las diferentes temperaturas de temple y revenido de los aceros que se venden en el país, así como el medio de temple.

OBSERVACION:

Antes de poner el horno en operación es necesario eliminar

la humedad almacenada en la estructura de ladrillo y material aislante.

Para eliminar esta humedad debe abrirse la puerta ligeramente y sacar cualquier objeto que pueda haber en la cámara, luego encender el horno a 50°C por un período de dos horas, en este lapso saldrá la humedad en forma de vapor.

Todo lo anterior debe realizarse si el horno ha permanecido dos meses sin ser usado.

PROCEDIMIENTO:

- 1- Encienda el horno girando el interruptor de encendido, asegurándose que la perilla del selector de temperatura este en 0°C.
- 2- Gire la perilla del selector de temperatura hasta que indique 50°C espere a que se establezca la temperatura, y luego, incremente en 50°C hasta alcanzar la temperatura de temple.
- 3- Utilizando guantes, delantal protector y tenaza introduzca las muestras y déjelas durante un tiempo determinado a la temperatura del paso 2. Tome una hora de permanencia por cada 25 mm de espesor.
- 4- Saque las muestras usando el equipo numeral anterior e introdúzcalas inmediatamente en el medio de temple indicado (agua, aceite o aire)
- 5- Enfríe el horno hasta la temperatura de revenido.
- 6- Introduzca las muestras al horno y déjelas a esa

- temperatura el mismo tiempo tomado en el numeral 3.
- 7- Saque las muestras y déjelas enfriar al aire.
 - 8- Limar las muestras para eliminar cualquier película descarbonizada.
 - 9- En uno de los lados de cada muestra tome cinco lecturas de dureza Rockwell y registre los valores en la tabla siguiente;

| ACERO | ENFRIAMIENTO | LECTURAS DE DUREZA | | | | | PROME- DIO | DUREZA INVESTIGADA |
|-------|--------------|--------------------|--|--|--|--|---------------|-----------------------|
| | HORNO | | | | | | | |
| | AIRE | | | | | | | |
| | AGUA, 27 °C | | | | | | | |
| | ACEITE, 27°C | | | | | | | |

CUESTIONARIO.

1. ¿Para qué sirve el temple?.
2. ¿Qué efectos tiene el temple?.
3. ¿Cómo se relaciona el tiempo y la temperatura de temple?.
4. Compare las lecturas de dureza con los valores de dureza investigada concluya.

5.6 ANALISIS ECONOMICO DE LOS ENSAYOS.

Básicamente el costo económico de un ensayo de tratamiento térmico dependerá de varios factores tales como: Consumo de

energía eléctrica, costo de embutido, lijado, pulido, uso de microscopio, etc.

El uso de consumo de energía eléctrica se puede calcular a partir de la curva de calentamiento y de la curva de consumo de energía para compensar las pérdidas durante una hora. También se considera una temperatura promedio de 800 °C.

De la fig. 5.1 se lee directamente que para calentar el horno a 800 °C se necesita 70 minutos (1.16 horas).

La potencia del horno es de 5.5 Kw por lo tanto la potencia consumida (P_1) para llegar a esa temperatura es:

$$P_1 = 5.5 \times 1.16$$

$$P_1 = 6.38 \text{ Kw-h}$$

De la fig. 5.2 se lee directamente que para 1 hora de permanencia a esa temperatura el consumo es de 7.25 Kw-h.

El consumo de energía eléctrica total para un tratamiento térmico realizado a 800 °C manteniendo el horno encendido durante una hora a esa temperatura vendrá dado por:

$$P_c = (P_1 + P_2)(1.10)$$

Donde:

P_c : Potencia consumida total

P_1 : Potencia consumida para calentar el horno hasta una temperatura T

P_2 : Potencia eléctrica necesaria para mantener el horno a una temperatura T durante 1 hora.

1.10 : Factor para compensar costos no considerados como:

Enfriamiento del horno al abrir la puerta, posible humedad, etc.

Datos:

$$P_1 = 6.38 \text{ Kw-h}$$

$$P_2 = 7.25 \text{ Kw-h}$$

$$P_c = (6.19 + 7.25)(1.10)$$

$$P_c = 15.00 \text{ Kw-h}$$

En el cálculo anterior se ha despreciado el consumo de energía eléctrica que ocasionaría al introducir en el horno la muestra de acero al absorber ésta, calor por conducción; ya que según la tabla 5.5 para 25 lbs de acero de consume 2.0 Kw-h. Teniendo en cuenta que la carga del horno serán muestras de acero que sumarán como máximo una libra o sea que consumirá una cantidad de Kw-h que puede ser despreciada.

Tabla 5.5 Kilowatt-Hora de acero calentado (Ref. 16).

| LBS DE ACERO | TEMPERATURA (°C) | | | | |
|--------------------|------------------|------|------|-------|-------|
| | 100 | 200 | 400 | 600 | 800 |
| | KILOWATT-HORA | | | | |
| 25 | 0.25 | 0.50 | 1.00 | 1.32 | 2.00 |
| 50 | 0.50 | 1.00 | 2.00 | 2.75 | 3.75 |
| 100 | 1.00 | 2.00 | 4.00 | 5.50 | 7.50 |
| 150 | 1.50 | 3.00 | 6.00 | 8.25 | 11.25 |
| 200 | 2.00 | 4.00 | 8.00 | 11.00 | 15.00 |

En la tabla 5.7 y 5.8 aparece un costo aproximado de un ensayo de tratamiento térmico y un ensayo metalográfico, respectivamente.

5.6.1 DEPRECIACION DEL HORNO.

La depreciación significa una disminución del valor. La mayor parte de los activos valen menos a medida que envejecen.

Excepto en el caso de un valor posible por concepto de antigüedad, el equipo de producción se vuelve cada vez menos valioso debido al desgaste. Esta disminución del valor se conoce como depreciación.

En lugar de cargar la totalidad del precio de compra este desembolso se distribuye durante la vida del activo.

Para calcular la depreciación del horno se hará en base a la vida de servicio de las resistencias eléctricas por considerar que son éstos elementos los que están sometidos a mayor desgaste en la utilización del horno.

En la siguiente tabla se muestran la vida aproximada de las resistencias eléctricas, dependiendo de la temperatura promedio a la cual prestan servicio.

Tabla 5.6 Vida aproximada de las resistencias eléctricas, dependiendo de la temperatura promedio de servicio (Ref. 16).

| T (°C) | VIDA APROXIMADA |
|--------|--------------------|
| 815 | 3 ¼ año |
| 871 | 1 año (2000 horas) |
| 927 | 4 meses |
| 982 | 1 ½ meses |
| 1038 | 2 semanas |
| 1093 | 1 semana |
| 1149 | 2 días |

Las cartas de aplicación y operación recomiendan un uso máximo de 871 °C para obtener una vida aproximada de 1 año de servicio.

Para el cálculo de la depreciación se utiliza el método de la línea recta, ya que es el método más simple y el más utilizado. (Ref. 17)

El valor de la depreciación es igual a la diferencia entre el precio de compra y el valor de recuperación dividido entre la vida de servicio, matemáticamente:

$$DC = \frac{P - S}{N}$$

Donde:

Dc : Depreciación del horno (¢/h)

P : Valor actual (¢)

S : Valor de recuperación (¢)

N : Vida de servicio (h)

En nuestro caso:

$$P = \text{¢ } 4,500$$

$$S = \text{¢ } 0.00$$

$$N = 2000 \text{ horas (Tabla 5.6)}$$

$$Dc = \frac{4500 - 0}{2000}$$

$$Dc = 2.25 \text{ ¢/h}$$

Este será el valor ha considerar en los costos de laboratorios de tratamientos térmicos.

TABLA 5.7. COSTO DE UN ENSAYO DE TRATAMIENTO TERMICO

| EQUIPO, MATERIALES Y/O SERVICIO | | | | | COSTO TOTAL |
|--|-----------------------------|-------------------------|--------------------------|-----------------------------|-------------|
| | | | | | ¢ |
| CONSUMO DE ENERGIA ELECTRICA DE EQ. DE LAB. | P1 KW-h | P2 KW-h | (P1+P2)(1.10) KW-h | ¢/KW-h | |
| | | | | | |
| DEPRECIACION DEL HORNO | TIEMPO DE USO (HORAS) | | DEPRECIACION/HORA ¢/h | | |
| | | | | | |
| HORAS - HOMBRE DE PERSONAL TECNICO | No. DE TECNICOS DE T. T. | No. DE HORAS- HOMBRE | | COSTO (¢) HORAS - HOMBRE | |
| | | | | | |
| SUB-TOTAL | | | | | |
| IMPREVISTOS (10% SOBRE SUB-TOTAL) | | | | | |
| TOTAL | | | | | |

TABLA 5.8. COSTO DE UN ENSAYO METALOGRAFICO.

| EQUIPO, MATERIALES Y/O SERVICIO | | | | | COSTO ¢ |
|--|-----------------------------|--------------|----------------------|----------------|------------|
| CONSUMO DE ENERGIA ELECTRICA DE EQ. DE LAB. | P (KW) | t (HORAS) | $P \times t$ KW-h | ¢/KW-h | |
| | | | | | |
| PROCESO DE EMBUTIDO | RESINA FENOLICA (GRAMOS) | | ¢/GRAMO | | |
| | | | | | |
| PAPEL DE CARBURO DE SILICIO | No. DE UNIDADES | | COSTO/UNIDAD ¢ | | |
| | | | | | |
| ALUMINA | CANTIDAD (GRAMOS) | | ¢/GRAMO | | |
| | | | | | |
| USO DE EQUIPO DE LABORATORIO (¢) | | | | | |
| HORAS-HOMBRE DE PERSONAL TECNICO | No. DE TECNICOS | HORAS-HOMBRE | | ¢/HORAS-HOMBRE | |
| | | | | | |
| ANALISIS DE HOJA DE RESULTADOS (¢) | | | | | |
| SUBTOTAL | | | | | |
| IMPREVISTOS (10% SOBRE SUB-TOTAL) | | | | | |
| TOTAL | | | | | |

NOTA: El equipo de laboratorio incluye: Embutidora, lijadora y microscopio

5.7 EVALUACION DEL FUNCIONAMIENTO.

El horno de resistencia eléctrica para tratamientos térmicos ha observado un funcionamiento normal durante el periodo de prueba, ya que se han logrado las temperaturas para las diferentes pruebas que se realizaron.

Se pudo establecer mediante la curva de calentamiento que la tendencia de esta, es la que se esperaba, y que su punto de intersección con el eje ordenado aproximadamente nos proporciona el valor de la temperatura ambiente a la cual se realizaron las pruebas.

También se pudo comprobar el buen funcionamiento del equipo de medición de temperatura, ya que este fue comparado con el equipo de medición de otro horno.

Se observó un problema con el contactor, ya que éste en algunas ocasiones, sus contactos se pegaban y no desconectaban para seguir con el proceso de calentamiento esto se debió a que el voltaje de alimentación se incrementó de 110 voltios para el cual esta diseñado a 130 voltios generando esto un incremento en la corriente de alimentación y por consiguiente un calentamiento excesivo en el contactor.

Este problema se soluciona cambiando el contactor por uno de mayor potencia y así evitando el recalentamiento que generó dicho problema. Este problema se pudo haber solucionado cambiando el equipo a una red que proporcione un valor de 110 voltios y así generar la potencia requerida.

Como se mencionó anteriormente al aumentar el voltaje de alimentación se incrementa la corriente y por consiguiente la potencia generada.

Al elevarse la potencia generada se incrementó la velocidad de calentamiento del horno generando esto una disminución en el tiempo de calentamiento.

Se pudo estimar que los valores de temperatura calculados para las paredes del horno se aproximan a los valores reales.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

En términos generales el modelo construido se ajusta a los requerimientos de diseño, tales como: Potencia, volumen de la cámara y temperatura de operación.

También resulta más económico construirlo localmente que comprarlo en las distribuidoras del país.

En cuanto a la evaluación de funcionamiento, con la ayuda del recién instalado laboratorio de Metrología legal se calibró el horno, llegando a establecer que la temperatura del elemento patrón no coincide con la que marca el control de temperatura del horno. Ver Anexo Nº 8.

El error del control de temperatura con respecto al patrón es del 9%, es decir, si marca 800 °C el dial del horno la temperatura real (elemento patrón) será de $(800)(0.91) = 728$ °C.

Las recomendaciones generales para la utilización del horno son:

- Si el horno ha dejado de funcionar durante un largo período, dejarlo a 50 °C durante 2 horas para evacuar la humedad, luego utilizarlo normalmente.
- La temperatura máxima de operación será de 875 °C.
- La temperatura a que se pondrá el selector de temperatura viene dada por la ecuación: $T_s = 1.09 T_e$.

Donde T_s : Es la temperatura que marca el selector

T_e : Es la temperatura real que se quiere en el interior del horno.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

1. Introducción a la Metalurgia Física
Sydney H. Avner
Segunda Edición
McGraw-Hill
México, 1980.

2. Ciencias de Materiales para Ingeniería
Peter A. Thornton
Vito J. Congelo
PHH. Prentice Hall
México, 1987

3. Templabilidad, un Método para Seleccionar Aceros
P. J. Maroni
Editorial Librería Mitre

4. Diseño de un Horno para Tratamientos Térmicos Calentado por Diesel.
Juan Carlos Alfaro Aguilar
Rildo Paz Núñez
Martín Ernesto Velasco Rodríguez
Proyecto de Ingeniería Mecánica, 1994
UES.

5. Diseño de un Filtro para Amortiguar en la Red Eléctrica de Distribución los Efectos Producidos por un Horno Eléctrico de Fundición de Metales.

Roberto Arturo Arévalo Cruz

Proyecto de Ingeniería Eléctrica, 1993

UES.

6. Manual del Ingeniero Mecánico

Marks

Octava Edición en Inglés

(Segunda Edición en Español)

McGraw-Hill

México, 1978.

7. Aceros para Herramientas

F. R. Palmer

J. V. Luerssen

J. S. Pendleton

8. Diseño y Construcción de un Horno de Resistencia Eléctrica para el Trabajo de Cerámica.

José Raúl Romero

Tesis, 1987

UES.

9. Hornos Industriales
W. Trinks
M. H. Maw THINNEY
1971

10. Transferencia de Calor
J. P. Holman
Editorial C.E.C.S.A.
1989.

11. Ingeniería Metalúrgica
Shuhmann, J. R.
Editorial Continental
1968

12. Hornos
Gilchrist J. D.
Editorial Alhambra S.A.
1969.

13. Instrumentación Industrial
Antonio Creus Sole
Segunda Edición
Publicaciones Marcombo, S.A.
1981.

14. Técnicas de Metalurgia Experimental
Doctor A. U. Seybolt
Doctor J. E. Burke
Primera Edición
Editorial Limusa Wyley S.A.
1969.

15. Catálogo de Colchas Cerámicas Inswool

16. Watlow
Manufacturing Facilities Heather
Houston, U.S.A. 7062

17. Ingeniería Económica
James L. Rieggs
Representaciones y Servicios de Ingeniería
México
1977

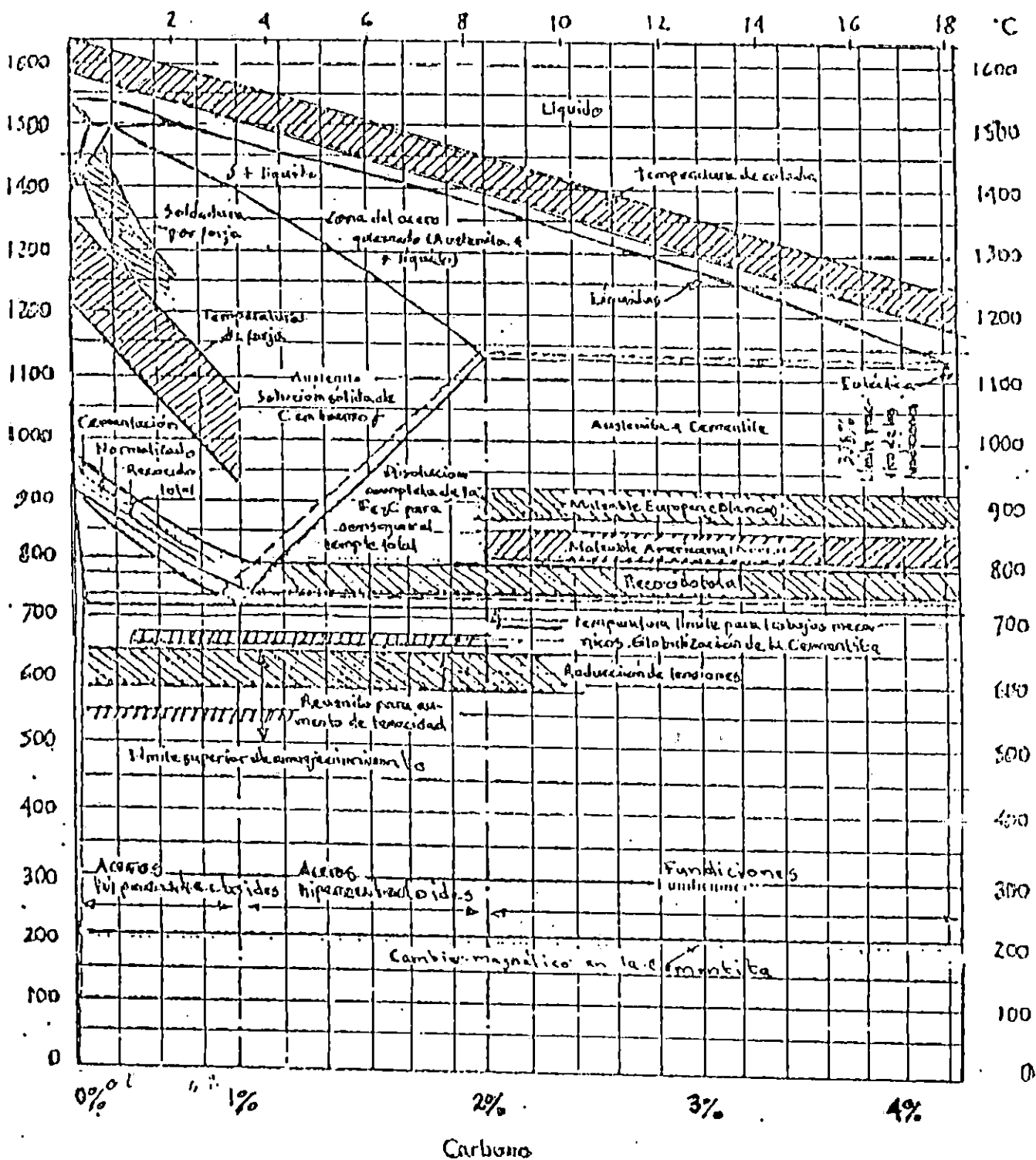
18. Sistemas y Materiales de Soldadura
Indura S. A.

19. Proyecto de Elementos de Máquinas
M. F. Sotts
Editorial Reverté S. A.
1974

A N E X O S

DIAGRAMA PRÁCTICO DE EQUILIBRIO Fe-C

Carbono en % de átomos



BOEHLER H. ACERO ESPECIAL

ACEROS FINOS AL CARBONO DE ALTA CALIDAD

TIPO DE ALEACION %: C 0.45 Si 0.25 Mn 0.5

NORMAS:

AISI: C 1045

DIN: CK 45 (ST 70)

USOS:

Acero fino templable en agua o en aceite, puede ser usado en la fabricación de partes de maquinaria sometidas a esfuerzos medios tales como: ejes, pernos, tuercas, pines guías, pines de sujeción, cuñas, arboles de transmisión, herramientas manuales, placas sufrideras, holders para moldes, etc.

CARACTERISTICAS MECANICAS:

Resistencia a la tracción en estado natural 60/70 kg/mm²

Dureza Brinell en estado natural: 174-207 HB

Dureza máxima en estado templado:

| | |
|-----------|------|
| en aceite | 40RC |
| en agua | 58RC |

TRATAMIENTO TERMICO:

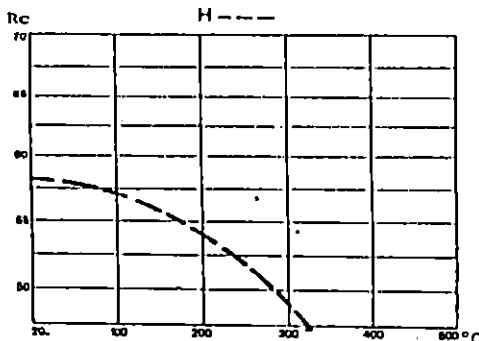
Forjar: 1100-850°C

Normalizar: 820-870°C

Recocer 660-700°C

Templar: en aceite 820-850°C

" : en agua 810-840°C



PRINCIPALES APLICACIONES

CARACTERISTICAS

COMPRESION EN PLANO (kg/cm²)

MODULO DE RUP.TURA (kg/cm²)

POROSIDAD APARENTE (%)

DENSIDAD PROMEDIO (g/cm³)

TEMPERATURA EQUIVALENTE (°C)

CONG.FROMETRICO OPTON

SiO₂ (%)

Al₂O₃ COMPOSICION QUIMICA (%)

CLASIFICACION

CONCEPTO PRODUCTO

| CONCEPTO | PRODUCTO | CLASIFICACION | SiO ₂ (%) | Al ₂ O ₃ COMPOSICION QUIMICA (%) | TEMPERATURA EQUIVALENTE (°C) | DENSIDAD PROMEDIO (g/cm ³) | POROSIDAD APARENTE (%) | MODULO DE RUP.TURA (kg/cm ²) | COMPRESION EN PLANO (kg/cm ²) | CARACTERISTICAS | PRINCIPALES APLICACIONES |
|---------------|----------|---------------|----------------------|--|------------------------------|--|------------------------|--|---|-----------------------|--------------------------|
| KER SM | | C1 | 58 | 30/31 | 1650 | 2.12 | 15/19 | 105 | 212 | DATA PRODUCCION: 1987 | INDUSTRIAS DE CEMENTO |
| CROWN M | | AC | 55 | 31/32 | 1680 | 2.00 | 21/27 | 49 | 112 | INDUSTRIAS DE CEMENTO | INDUSTRIAS DE CEMENTO |
| EMPIRE M | | AC | 55 | 32/33 | 1700 | 2.00 | 22/25 | 49 | 105 | INDUSTRIAS DE CEMENTO | INDUSTRIAS DE CEMENTO |
| REG-18 | | AC | 53 | 32/33 | 1745 | 2.25 | 12/16 | 105 | 281 | DATA PRODUCCION: 1987 | INDUSTRIAS DE CEMENTO |
| MEXKO M | | CS | 49 | 33/34 | 1745 | 2.05 | 20/24 | 49 | 105 | INDUSTRIAS DE CEMENTO | INDUSTRIAS DE CEMENTO |
| MEXKO MK | | CS | 47 | 33/34 | 1745 | 2.10 | 14/18 | 98 | 267 | INDUSTRIAS DE CEMENTO | INDUSTRIAS DE CEMENTO |
| 42 M | | CS | 53 | 33/34 | 1745 | 2.30 | 14/18 | 98 | 267 | INDUSTRIAS DE CEMENTO | INDUSTRIAS DE CEMENTO |
| KX-92 M | | CS | 53 | 33/34 | 1745 | 2.30 | 14/18 | 98 | 267 | INDUSTRIAS DE CEMENTO | INDUSTRIAS DE CEMENTO |
| MIZOU M | | AA | 60 | 36/37 | 1820 | 2.45 | 18/21 | 63 | 211 | INDUSTRIAS DE CEMENTO | INDUSTRIAS DE CEMENTO |
| MIZOU-MD | | AA | 65 | 36/37 | 1820 | 2.45 | 17/20 | 70 | 169 | INDUSTRIAS DE CEMENTO | INDUSTRIAS DE CEMENTO |
| GREENMUL-60 M | | AA | 57 | 36/37 | 1820 | 2.50 | 14/17 | 141 | 563 | INDUSTRIAS DE CEMENTO | INDUSTRIAS DE CEMENTO |
| GREENMUL-60 M | | AA | 57 | 36/37 | 1820 | 2.50 | 14/17 | 141 | 563 | INDUSTRIAS DE CEMENTO | INDUSTRIAS DE CEMENTO |
| KRUZITE M | | AA | 69 | 37/38 | 1820 | 2.56 | 18/22 | 105 | 107 | INDUSTRIAS DE CEMENTO | INDUSTRIAS DE CEMENTO |
| MUL M | | AA | 66 | 38/39 | 1825 | 2.55 | 16/19 | 141 | 522 | INDUSTRIAS DE CEMENTO | INDUSTRIAS DE CEMENTO |
| BAUZITE M | | AA | 75 | 41/42 | 1835 | 2.63 | 18/23 | 127 | 201 | INDUSTRIAS DE CEMENTO | INDUSTRIAS DE CEMENTO |
| 80 M | | AA | 80 | 43/44 | 1835 | 2.65 | 19/23 | 84 | 281 | INDUSTRIAS DE CEMENTO | INDUSTRIAS DE CEMENTO |
| DV M | | XA | 85 | 44/45 | 1835 | 2.80 | 20/22 | 113 | 492 | INDUSTRIAS DE CEMENTO | INDUSTRIAS DE CEMENTO |
| DV-38 M | | XA | 85 | 44/45 | 1835 | 2.87 | 12/16 | 225 | 844 | INDUSTRIAS DE CEMENTO | INDUSTRIAS DE CEMENTO |
| AP-05 | | XA | 85 | 44/45 | 1835 | 2.83 | 12/16 | 225 | 774 | INDUSTRIAS DE CEMENTO | INDUSTRIAS DE CEMENTO |
| 90-0M | | XA | 90 | 44/45 | 1835 | 2.85 | 19/21 | 109 | 433 | INDUSTRIAS DE CEMENTO | INDUSTRIAS DE CEMENTO |
| 90 BX | | XA | 91 | 44/45 | 1835 | 2.92 | 12/14 | 162 | 703 | INDUSTRIAS DE CEMENTO | INDUSTRIAS DE CEMENTO |
| GREENAL-90 M | | XA | 90 | 44/45 | 1835 | 2.99 | 12/16 | 211 | 834 | INDUSTRIAS DE CEMENTO | INDUSTRIAS DE CEMENTO |
| GREENAL-94 M | | XA | 94 | 44/45 | 1835 | 3.04 | 13/17 | 210 | 844 | INDUSTRIAS DE CEMENTO | INDUSTRIAS DE CEMENTO |
| 99-AD | | XA | 99 | 44/45 | 1835 | 3.06 | 18/21 | 125 | 560 | INDUSTRIAS DE CEMENTO | INDUSTRIAS DE CEMENTO |
| EMPIRE-AR | | AR | 38 | 30/31 | 1650 | 2.20 | 11/15 | 197 | 338 | INDUSTRIAS DE CEMENTO | INDUSTRIAS DE CEMENTO |
| C-15 | | AR | 28 | 30 | 1650 | 2.17 | 12/17 | 70 | 478 | INDUSTRIAS DE CEMENTO | INDUSTRIAS DE CEMENTO |
| CTX M | | AC | 33 | 23/26 | 1580 | 2.05 | 19/23 | 39/56 | 141 | INDUSTRIAS DE CEMENTO | INDUSTRIAS DE CEMENTO |
| FUN | | AC | 32 | 31/32 | 1680 | 2.05 | 15/21 | — | — | INDUSTRIAS DE CEMENTO | INDUSTRIAS DE CEMENTO |
| IC 40 | | CS | 41 | 32/33 | 1700 | 2.15 | 18 | — | — | INDUSTRIAS DE CEMENTO | INDUSTRIAS DE CEMENTO |

C1 = CALIDAD INTERMEDIA
 AC = ALTA CALIDAD
 CS = CALIDAD SUPERIOR

AA = ALTA ALUMINA
 XA = EXTRA - ALTA - ALUMINA
 AR = ACIDO RESISTENTE

- * Ahorro en combustible.
- * Pronta recuperación de la Inversión.
- * Costos de construcción menores.
- * Fácil de reparar
- * Permite la fabricación de hornos más ligeros.

DATOS TECNICOS

Colcha de fibra Cerámica de Alúmina-Sílice para 1040°C (1900°F)

TEMPERATURA MAXIMA RECOMENDADA

| | | |
|-----------------------------|--------|--------|
| Para uso intermitente | 1040°C | 1900°F |
| Para uso continuo | 900°C | 1650°F |

| | | |
|---|----------------|-------------------|
| COLOR | Blanco opaco | |
| DIAMETRO DE FIBRA | 3-6 Micrones | |
| LONGITUD DE FIBRA | 20 cm. prom. | 8 pulg. (prom.) |
| Colcha de 128 kg/m ³ (8lb/pie ³) | 30-40 cm. máx. | 2-16 pulg. (máx.) |

CAMBIO LINEAL PERMANENTE

| | |
|---------------------------------|----------|
| Porciento de contracción | |
| 24 hrs. a 815°C (1500°F) | 0.5-1.0% |
| 24 hrs. a 925°C (1700°F) | 1.0-2.0% |
| 24 hrs. a 1040°C (1900°F) | 2.0-3.0% |

La prueba de cambio lineal permanente de 24 hr. es representativa de la contracción que experimentará en servicio.

CONDUCTIVIDAD TERMICA A TEMPERATURA PROMEDIO

| | | | |
|---|---|--|---|
| Kcal-m/m ² -hr-°C (BTU pulg/pie ² -hr-°F) | 64 k/pie ³ (4 lb/pie ³) | 96 kg/m ³ (6 lb/pie ³) | 128 kg/m ³ (8 lb/pie ³) |
| 315°C (600°F) | 0.06 (0.5) | 0.06 (0.5) | 0.05 (0.4) |
| 540°C (1000°F) | 0.11 (0.9) | 0.11 (0.9) | 0.10 (0.8) |
| 750°C (1400°F) | 0.20 (1.6) | 0.17 (1.4) | 0.14 (1.1) |
| 870°C (1600°F) | 0.24 (1.9) | 0.21 (1.7) | 0.16 (1.3) |

ANALISIS QUIMICO

| | |
|---|---------------|
| Alúmina (Al ₂ O ₃) | 40.0-45.0% |
| Sílice (SiO ₂) | 55.0-60.0% |
| Oxido de Hierro (Fe ₂ O ₃) | Hasta el 1.0% |
| Dioxido de Titanio (TiO ₂) | Hasta el 1.5% |
| Alcalis (Na ₂ - K ₂ C) | Hasta el 1.0% |

Los datos de prueba mostrados están basados en resultados promedio de pruebas de control y están sujetos a variaciones normales en pruebas individuales. Estos resultados no pueden ser tomados como máximos o mínimos para propósitos de especificación.

OFICINAS PLANTA:
BOULEVARD INDUSTRIAS No. 1900
RAMOS ARIZPE, COAH.
TEL (84) 15-16-57, 15-17-06, 15-18-75,
16-13-35, 15-13-59.
FAX, (84) 15-18-98

VENTAS-MEXICO
RIO DE LA PLATA No. 48
COL. CUAUHEMOC
06500 MEXICO, D.F.
TEL. (5) 286 81 33, 286 35 55
EXT. 3 2 6 0
TELEX 1772487 IPSAME
TELEX 1773023 REFME
FAX (5) 286 5075

VENTAS MONTERREY
AVE. DE LA JUVENTUD No. 265N.
SAN NICOLAS DE LOS GARZA, N.L.
TEL (83) 30 02 03
TELEX 3 8 2 7 5 2 KERAME
FAX (83)53 92 01

VENTAJAS DE LA COLCHA INSWOOL-HP-M

- Bajo contenido de hierro
- Temperatura límite 1315°C (2400°F)
- Baja conductividad térmica

- Resistencia al choque térmico
- Buena resistencia mecánica
- Fácil de cortar, envolver o formar

APLICACIONES TIPICAS PARA LA COLCHA INSWOOL-HP

Recomendada especialmente para aplicaciones que requieran bajo contenido de hierro menor del 1% y para atmósferas altamente reductoras.

- Hornos de carbonizado
- Equipos con atmósferas reductoras
- Hornos de monóxido de carbono

- Hornos de tratamiento térmico con alto porcentajes de hidrogeno

DATOS TECNICOS

COLCHA INSWOOL-HP

Colcha de fibras cerámicas de alúmina-silice de alta pureza para 1315°C (2400°F)

TEMPERATURA MAXIMA RECOMENDADA

| | | |
|-----------------------------|--------|--------|
| Para uso intermitente | 1315°C | 2400°F |
| Para uso continuo | 1230°C | 2250°F |

| | | |
|--|------------------------------|-------------------------------|
| COLOR | Blanco | |
| DIAMETRO DE FIBRA | 3 - 5 Micrones | |
| INDICE DE REFRACCION | 1.552 | |
| GRAVEDAD ESPECIFICA | 2.55 | |
| LONGITUD DE FIBRA | 20 cm. prom. | 8 pulg. prom. |
| RESISTENCIA A LA TENSION | 30 - 40 cms. máx. | 12 - 16 pulg. máx. |
| Colcha de 128 Kg/m ³ (8 lb/pie ³) | 0.7 - 1.0 Kg/cm ² | 10 - 15 lb/pulg. ² |

CAMBIO LINEAL PERMANENTE

| | |
|---------------------------------|------------|
| Por ciento de contracción | |
| 24 hrs. a 1093°C (2000°F) | 1.8 - 2.6% |
| 24 hrs. a 1205°C (2200°F) | 2.5 - 2.9% |
| 24 hrs. a 1315°C (2400°F) | 3.6 - 4.4% |

La prueba del cambio lineal permanente de 24 hrs. es representativa de la contracción que experimentará en servicio.

CONDUCTIVIDAD TERMICA

| a temperatura promedio | 64 Kg/m ³ (4 lbs./pie ³) | 96 kg/m ³ (6 lbs/pie ³) | 128 kg/m ³ (8 lbs/pie ³) |
|--|--|---|--|
| Kcal-m/m ² -hr-°C (BTU-pulg/pie ² -hr-°F) | | | |
| 315 °C (600°F) | 0.06 (0.5) | 0.06 (0.5) | 0.05 (0.4) |
| 540 °C (1000°F) | 0.11 (0.9) | 0.11 (0.9) | 0.10 (0.8) |
| 760°C (1400°F) | 0.20 (1.6) | 0.17 (1.4) | 0.14 (1.1) |
| 870°C (1600°F) | 0.24 (1.9) | 0.21 (1.7) | 0.16 (1.3) |

ANALISIS QUIMICO

| | |
|--|----------------|
| Alúmina Al ₂ O ₃ | 49 - 50% |
| Sílice Si O ₂ | 50 - 51% |
| Otros | Menos del 0.5% |

Los datos de prueba mostrados están basados en resultados promedio de pruebas de control y están sujetos a variaciones normales en pruebas individuales. Estos resultados no pueden ser tomados como mínimos o máximos para propósitos de especificación.

ANEXO No. 6

PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS DE LAS ALEACIONES RESISTENTES AL CALOR

| GRUPO | I | II | III |
|---|--|---------------------------------------|------------------|
| DESIGNACION AMERICANA | INCONEL | 65 - 15 | NA-22-II |
| Cr | 14 | 11 - 20 | 26.3 |
| Ni | 80 | 60 - 64 | 46.0 |
| C | 0.20 (moldeado) 0.08 (laminado) | | 0.44 |
| Composición química, en % | Si | 2.0 (moldeado) | 0.99 |
| Mn | 0.25 (laminado) | | 1.36 |
| Fe | 6.0 - 6.5 | 20 - 25 | |
| W | | | 5.28 |
| Densidad Relativa | 8.4 | 8.29 (laminado) 8.06 (moldeado) | |
| Peso específico, Kg/m ³ | 8497.7 | 8027.2 | |
| Carga de rotura en frío, Kg/mm ² | 78.73 (laminado) 49.21 - 66.78 (moldeado) | 44.99 (moldeado) 71.70 (laminado) | 45.69 (moldeado) |
| Coefficiente de dilatación térmica mm por mm y °C | 0.000016 | 0.000013 | 0.000015 |
| Tolerancia de contracción para las piezas moldeadas en mm/mm | | | |
| Conductividad térmica, Kcal/ (m,h,°C) a temperatura ambiente | 12.87 | 9.22 | |
| Calor Específico | 0.109 | 0.114 a temperatura ambiente | |
| Resistividad Eléctrica | 102.92 | 109.56 (laminado) 119.5 (moldeado) | |
| Coefficiente de temperatura de la resistividad eléctrica | 0.0000100 | 0.0000171 | |

Continuación.

| GRUPO | IV | V | VI |
|---|--|--|--|
| DESIGNACION AMERICANA | 35 - 15 | 25 - 12 | TIPO 446 |
| Cr | 15 - 20 | 22 - 30 | 23.27 * |
| Ni | 35 - 40 | 8 - 18 | |
| C | 0.4-0.6 (moldeado) | 0.5 (moldeado) 0.25 máx. (laminado) | 0.5 (moldeado) 0.10-0.25 (laminado) |
| Composición química, en % | | | |
| Si | | 1.0 - 1.5 | 1.0 máximo |
| Mn | | 1.0 | 1.5 |
| Fe | Resto | Resto | |
| W | | | |
| Densidad Relativa | 7.92 | 7.8 | 7.65 |
| Peso específico, Kg/m ³ | 8027.2 | 6975.3 | 7473.6 |
| Carga de rotura en frío, Kg/mm ² | 46.69-47.80 (moldeado) 66.68 (laminado) | 45.69-77.33 (moldeado) 63.27-80.84 (laminado) | 28.12-35.15 (moldeado) 52.72-66.78 (laminado) |
| Coefficiente de dilatación térmica mm por mm y °C | 0.000013 | 0.000016 | 0.000012 |
| Tolerancia de contracción para las piezas moldeadas en mm/mm | 0.53 | 0.53 | |
| Conductividad térmica, Kcal/ (m,h,°C) a temperatura ambiente | 8.18 - 11.16 | 12.98 | 18 |
| Calor Específico | 0.112 a temperatura ambiente | 0.14 medio, entre 15 y 875 | 0.12 medio entre 15 y 875 |
| Resistividad Eléctrica | 111.26 | 94.62 | 68.55 |
| Coefficiente de temperatura de la resistividad eléctrica | | | |

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 950 | 55,008 | 55,018 | 55,028 | 55,038 | 55,048 | 55,058 | 55,068 | 55,078 | 55,088 | 55,098 | 55,108 |
| 960 | 55,108 | 55,118 | 55,128 | 55,138 | 55,148 | 55,158 | 55,168 | 55,178 | 55,188 | 55,198 | 55,208 |
| 970 | 55,208 | 55,218 | 55,228 | 55,238 | 55,248 | 55,258 | 55,268 | 55,278 | 55,288 | 55,298 | 55,308 |
| 980 | 55,308 | 55,318 | 55,328 | 55,338 | 55,348 | 55,358 | 55,368 | 55,378 | 55,388 | 55,398 | 55,408 |
| 990 | 55,408 | 55,418 | 55,428 | 55,438 | 55,448 | 55,458 | 55,468 | 55,478 | 55,488 | 55,498 | 55,508 |
| 1,000 | 55,498 | 55,508 | 55,518 | 55,528 | 55,538 | 55,548 | 55,558 | 55,568 | 55,578 | 55,588 | 55,598 |
| 1,010 | 55,588 | 55,598 | 55,608 | 55,618 | 55,628 | 55,638 | 55,648 | 55,658 | 55,668 | 55,678 | 55,688 |
| 1,020 | 55,688 | 55,698 | 55,708 | 55,718 | 55,728 | 55,738 | 55,748 | 55,758 | 55,768 | 55,778 | 55,788 |
| 1,030 | 55,788 | 55,798 | 55,808 | 55,818 | 55,828 | 55,838 | 55,848 | 55,858 | 55,868 | 55,878 | 55,888 |
| 1,040 | 55,888 | 55,898 | 55,908 | 55,918 | 55,928 | 55,938 | 55,948 | 55,958 | 55,968 | 55,978 | 55,988 |
| 1,050 | 55,988 | 55,998 | 56,008 | 56,018 | 56,028 | 56,038 | 56,048 | 56,058 | 56,068 | 56,078 | 56,088 |
| 1,060 | 56,088 | 56,098 | 56,108 | 56,118 | 56,128 | 56,138 | 56,148 | 56,158 | 56,168 | 56,178 | 56,188 |
| 1,070 | 56,188 | 56,198 | 56,208 | 56,218 | 56,228 | 56,238 | 56,248 | 56,258 | 56,268 | 56,278 | 56,288 |
| 1,080 | 56,288 | 56,298 | 56,308 | 56,318 | 56,328 | 56,338 | 56,348 | 56,358 | 56,368 | 56,378 | 56,388 |
| 1,090 | 56,388 | 56,398 | 56,408 | 56,418 | 56,428 | 56,438 | 56,448 | 56,458 | 56,468 | 56,478 | 56,488 |
| 1,100 | 56,488 | 56,498 | 56,508 | 56,518 | 56,528 | 56,538 | 56,548 | 56,558 | 56,568 | 56,578 | 56,588 |
| 1,110 | 56,588 | 56,598 | 56,608 | 56,618 | 56,628 | 56,638 | 56,648 | 56,658 | 56,668 | 56,678 | 56,688 |
| 1,120 | 56,688 | 56,698 | 56,708 | 56,718 | 56,728 | 56,738 | 56,748 | 56,758 | 56,768 | 56,778 | 56,788 |
| 1,130 | 56,788 | 56,798 | 56,808 | 56,818 | 56,828 | 56,838 | 56,848 | 56,858 | 56,868 | 56,878 | 56,888 |
| 1,140 | 56,888 | 56,898 | 56,908 | 56,918 | 56,928 | 56,938 | 56,948 | 56,958 | 56,968 | 56,978 | 56,988 |
| 1,150 | 56,988 | 56,998 | 57,008 | 57,018 | 57,028 | 57,038 | 57,048 | 57,058 | 57,068 | 57,078 | 57,088 |
| 1,160 | 57,088 | 57,098 | 57,108 | 57,118 | 57,128 | 57,138 | 57,148 | 57,158 | 57,168 | 57,178 | 57,188 |
| 1,170 | 57,188 | 57,198 | 57,208 | 57,218 | 57,228 | 57,238 | 57,248 | 57,258 | 57,268 | 57,278 | 57,288 |
| 1,180 | 57,288 | 57,298 | 57,308 | 57,318 | 57,328 | 57,338 | 57,348 | 57,358 | 57,368 | 57,378 | 57,388 |
| 1,190 | 57,388 | 57,398 | 57,408 | 57,418 | 57,428 | 57,438 | 57,448 | 57,458 | 57,468 | 57,478 | 57,488 |
| 1,200 | 57,488 | 57,498 | 57,508 | 57,518 | 57,528 | 57,538 | 57,548 | 57,558 | 57,568 | 57,578 | 57,588 |

Miliones

TIPO II

| | | | | | | | | | | | |
|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 270 | 6,458 | 6,468 | 6,478 | 6,488 | 6,498 | 6,508 | 6,518 | 6,528 | 6,538 | 6,548 | 6,558 |
| 280 | 6,558 | 6,568 | 6,578 | 6,588 | 6,598 | 6,608 | 6,618 | 6,628 | 6,638 | 6,648 | 6,658 |
| 290 | 6,658 | 6,668 | 6,678 | 6,688 | 6,698 | 6,708 | 6,718 | 6,728 | 6,738 | 6,748 | 6,758 |
| 300 | 6,758 | 6,768 | 6,778 | 6,788 | 6,798 | 6,808 | 6,818 | 6,828 | 6,838 | 6,848 | 6,858 |
| 310 | 6,858 | 6,868 | 6,878 | 6,888 | 6,898 | 6,908 | 6,918 | 6,928 | 6,938 | 6,948 | 6,958 |
| 320 | 6,958 | 6,968 | 6,978 | 6,988 | 6,998 | 7,008 | 7,018 | 7,028 | 7,038 | 7,048 | 7,058 |
| 330 | 7,058 | 7,068 | 7,078 | 7,088 | 7,098 | 7,108 | 7,118 | 7,128 | 7,138 | 7,148 | 7,158 |
| 340 | 7,158 | 7,168 | 7,178 | 7,188 | 7,198 | 7,208 | 7,218 | 7,228 | 7,238 | 7,248 | 7,258 |
| 350 | 7,258 | 7,268 | 7,278 | 7,288 | 7,298 | 7,308 | 7,318 | 7,328 | 7,338 | 7,348 | 7,358 |
| 360 | 7,358 | 7,368 | 7,378 | 7,388 | 7,398 | 7,408 | 7,418 | 7,428 | 7,438 | 7,448 | 7,458 |
| 370 | 7,458 | 7,468 | 7,478 | 7,488 | 7,498 | 7,508 | 7,518 | 7,528 | 7,538 | 7,548 | 7,558 |
| 380 | 7,558 | 7,568 | 7,578 | 7,588 | 7,598 | 7,608 | 7,618 | 7,628 | 7,638 | 7,648 | 7,658 |
| 390 | 7,658 | 7,668 | 7,678 | 7,688 | 7,698 | 7,708 | 7,718 | 7,728 | 7,738 | 7,748 | 7,758 |
| 400 | 7,758 | 7,768 | 7,778 | 7,788 | 7,798 | 7,808 | 7,818 | 7,828 | 7,838 | 7,848 | 7,858 |
| 410 | 7,858 | 7,868 | 7,878 | 7,888 | 7,898 | 7,908 | 7,918 | 7,928 | 7,938 | 7,948 | 7,958 |
| 420 | 7,958 | 7,968 | 7,978 | 7,988 | 7,998 | 8,008 | 8,018 | 8,028 | 8,038 | 8,048 | 8,058 |
| 430 | 8,058 | 8,068 | 8,078 | 8,088 | 8,098 | 8,108 | 8,118 | 8,128 | 8,138 | 8,148 | 8,158 |
| 440 | 8,158 | 8,168 | 8,178 | 8,188 | 8,198 | 8,208 | 8,218 | 8,228 | 8,238 | 8,248 | 8,258 |
| 450 | 8,258 | 8,268 | 8,278 | 8,288 | 8,298 | 8,308 | 8,318 | 8,328 | 8,338 | 8,348 | 8,358 |
| 460 | 8,358 | 8,368 | 8,378 | 8,388 | 8,398 | 8,408 | 8,418 | 8,428 | 8,438 | 8,448 | 8,458 |
| 470 | 8,458 | 8,468 | 8,478 | 8,488 | 8,498 | 8,508 | 8,518 | 8,528 | 8,538 | 8,548 | 8,558 |
| 480 | 8,558 | 8,568 | 8,578 | 8,588 | 8,598 | 8,608 | 8,618 | 8,628 | 8,638 | 8,648 | 8,658 |
| 490 | 8,658 | 8,668 | 8,678 | 8,688 | 8,698 | 8,708 | 8,718 | 8,728 | 8,738 | 8,748 | 8,758 |
| 500 | 8,758 | 8,768 | 8,778 | 8,788 | 8,798 | 8,808 | 8,818 | 8,828 | 8,838 | 8,848 | 8,858 |
| 510 | 8,858 | 8,868 | 8,878 | 8,888 | 8,898 | 8,908 | 8,918 | 8,928 | 8,938 | 8,948 | 8,958 |
| 520 | 8,958 | 8,968 | 8,978 | 8,988 | 8,998 | 9,008 | 9,018 | 9,028 | 9,038 | 9,048 | 9,058 |
| 530 | 9,058 | 9,068 | 9,078 | 9,088 | 9,098 | 9,108 | 9,118 | 9,128 | 9,138 | 9,148 | 9,158 |
| 540 | 9,158 | 9,168 | 9,178 | 9,188 | 9,198 | 9,208 | 9,218 | 9,228 | 9,238 | 9,248 | 9,258 |
| 550 | 9,258 | 9,268 | 9,278 | 9,288 | 9,298 | 9,308 | 9,318 | 9,328 | 9,338 | 9,348 | 9,358 |
| 560 | 9,358 | 9,368 | 9,378 | 9,388 | 9,398 | 9,408 | 9,418 | 9,428 | 9,438 | 9,448 | 9,458 |
| 570 | 9,458 | 9,468 | 9,478 | 9,488 | 9,498 | 9,508 | 9,518 | 9,528 | 9,538 | 9,548 | 9,558 |
| 580 | 9,558 | 9,568 | 9,578 | 9,588 | 9,598 | 9,608 | 9,618 | 9,628 | 9,638 | 9,648 | 9,658 |
| 590 | 9,658 | 9,668 | 9,678 | 9,688 | 9,698 | 9,708 | 9,718 | 9,728 | 9,738 | 9,748 | 9,758 |
| 600 | 9,758 | 9,768 | 9,778 | 9,788 | 9,798 | 9,808 | 9,818 | 9,828 | 9,838 | 9,848 | 9,858 |
| 610 | 9,858 | 9,868 | 9,878 | 9,888 | 9,898 | 9,908 | 9,918 | 9,928 | 9,938 | 9,948 | 9,958 |
| 620 | 9,958 | 9,968 | 9,978 | 9,988 | 9,998 | 10,008 | 10,018 | 10,028 | 10,038 | 10,048 | 10,058 |
| 630 | 10,058 | 10,068 | 10,078 | 10,088 | 10,098 | 10,108 | 10,118 | 10,128 | 10,138 | 10,148 | 10,158 |
| 640 | 10,158 | 10,168 | 10,178 | 10,188 | 10,198 | 10,208 | 10,218 | 10,228 | 10,238 | 10,248 | 10,258 |
| 650 | 10,258 | 10,268 | 10,278 | 10,288 | 10,298 | 10,308 | 10,318 | 10,328 | 10,338 | 10,348 | 10,358 |
| 660 | 10,358 | 10,368 | 10,378 | 10,388 | 10,398 | 10,408 | 10,418 | 10,428 | 10,438 | 10,448 | 10,458 |
| 670 | 10,458 | 10,468 | 10,478 | 10,488 | 10,498 | 10,508 | 10,518 | 10,528 | 10,538 | 10,548 | 10,558 |
| 680 | 10,558 | 10,568 | 10,578 | 10,588 | 10,598 | 10,608 | 10,618 | 10,628 | 10,638 | 10,648 | 10,658 |
| 690 | 10,658 | 10,668 | 10,678 | 10,688 | 10,698 | 10,708 | 10,718 | 10,728 | 10,738 | 10,748 | 10,758 |
| 700 | 10,758 | 10,768 | 10,778 | 10,788 | 10,798 | 10,808 | 10,818 | 10,828 | 10,838 | 10,848 | 10,858 |
| 710 | 10,858 | 10,868 | 10,878 | 10,888 | 10,898 | 10,908 | 10,918 | 10,928 | 10,938 | 10,948 | 10,958 |
| 720 | 10,958 | 10,968 | 10,978 | 10,988 | 10,998 | 11,008 | 11,018 | 11,028 | 11,038 | 11,048 | 11,058 |
| 730 | 11,058 | 11,068 | 11,078 | 11,088 | 11,098 | 11,108 | 11,118 | 11,128 | 11,138 | 11,148 | 11,158 |
| 740 | 11,158 | 11,168 | 11,178 | 11,188 | 11,198 | 11,208 | 11,218 | 11,228 | 11,238 | 11,248 | 11,258 |
| 750 | 11,258 | 11,268 | 11,278 | 11,288 | 11,298 | 11,308 | 11,318 | 11,328 | 11,338 | 11,348 | 11,358 |
| 760 | 11,358 | 11,368 | 11,378 | 11,388 | 11,398 | 11,408 | 11,418 | 11,428 | 11,438 | 11,448 | 11,458 |
| 770 | 11,458 | 11,468 | 11,478 | 11,488 | 11,498 | 11,508 | 11,518 | 11,528 | 11,538 | 11,548 | 11,558 |
| 780 | 11,558 | 11,568 | 11,578 | 11,588 | 11,598 | 11,608 | 11,618 | 11,628 | 11,638 | 11,648 | 11,658 |
| 790 | 11,658 | 11,668 | 11,678 | 11,688 | 11,698 | 11,708 | 11,718 | 11,728 | 11,738 | 11,748 | 11,758 |
| 800 | 11,758 | 11,768 | 11,778 | 11,788 | 11,798 | 11,808 | 11,818 | 11,828 | 11,838 | 11,848 | 11,858 |
| 810 | 11,858 | 11,868 | 11,878 | 11,888 | 11,898 | 11,908 | 11,918 | 11,928 | 11,938 | 11,948 | 11,958 |
| 820 | 11,958 | 11,968 | 11,978 | 11,988 | 11,998 | 12,008 | 12,018 | 12,028 | 12,038 | 12,048 | 12,058 |
| 830 | 12,058 | 12,068 | 12,078 | 12,088 | 12,098 | 12,108 | 12,118 | 12,128 | 12,138 | 12,148 | 12,158 |
| 840 | 12,158 | 12,168 | 12,178 | 12,188 | 12,198 | 12,208 | 12,218 | 12,228 | 12,238 | 12,248 | 12,258 |
| 850 | 12,258 | 12,268 | 12,278 | 12,288 | 12,298 | 12,308 | 12,318 | 12,328 | 12,338 | 12,348 | 12,358 |
| 860 | 12,358 | 12,368 | 12,378 | 12,388 | 12,398 | 12,408 | 12,418 | 12,428 | 12,438 | 12,448 | 12,458 |
| 870 | 12,458 | 12,468 | 12,478 | 12,488 | 12,498 | 12,508 | 12,518 | 12,528 | 12,538 | 12,548 | 12,558 |
| 880 | 12,558 | 12,568 | 12,578 | 12,588 | 12,598 | 12,608 | 12,618 | 12,628 | 12,638 | 12,648 | 12,658 |
| 890 | 12,658 | 12,668 | 12,678 | 12,688 | 12,698 | 12,708 | 12,718 | 12,728 | 12,738 | 12,748 | 12,758 |
| 900 | 12,758 | 12,768 | 12,778 | 12,788 | 12,798 | 12,808 | 12,818 | 12,828 | 12,838 | 12,848 | 12,858 |
| 910 | 12,858 | 12,868 | 12,878 | 12,888 | 12,898 | 12,908 | 12,918 | 12,928 | 12,938 | 12,948 | 12,958 |
| 920 | 12,958 | 12,968 | 12,978 | 12,988 | 12,998 | 13,008 | 13,018 | 13,028 | 13,038 | 13,048 | 13,058 |
| 930 | 13,058 | 13,068 | 13,078 | 13,088 | 13,098 | | | | | | |

(IPTS 1964)

| * C | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | * C |
|-----|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----|
| | Millonés | | | | | | | | | | | |
| 50 | 2,022 | 2,064 | 2,105 | 2,146 | 2,188 | 2,229 | 2,270 | 2,312 | 2,353 | 2,394 | 2,436 | 50 |
| 60 | 2,436 | 2,477 | 2,518 | 2,560 | 2,601 | 2,643 | 2,684 | 2,726 | 2,767 | 2,809 | 2,850 | 60 |
| 70 | 2,850 | 2,892 | 2,933 | 2,975 | 3,016 | 3,058 | 3,100 | 3,141 | 3,183 | 3,224 | 3,266 | 70 |
| 80 | 3,266 | 3,307 | 3,349 | 3,390 | 3,432 | 3,473 | 3,515 | 3,557 | 3,599 | 3,640 | 3,682 | 80 |
| 90 | 3,681 | 3,722 | 3,764 | 3,806 | 3,847 | 3,888 | 3,930 | 3,971 | 4,012 | 4,054 | 4,095 | 90 |
| 100 | 4,095 | 4,137 | 4,178 | 4,219 | 4,261 | 4,302 | 4,343 | 4,384 | 4,426 | 4,467 | 4,508 | 100 |
| 110 | 4,508 | 4,549 | 4,590 | 4,632 | 4,673 | 4,714 | 4,756 | 4,796 | 4,837 | 4,878 | 4,919 | 110 |
| 120 | 4,919 | 4,960 | 5,001 | 5,042 | 5,083 | 5,124 | 5,165 | 5,206 | 5,246 | 5,287 | 5,328 | 120 |
| 130 | 5,327 | 5,368 | 5,409 | 5,450 | 5,490 | 5,531 | 5,571 | 5,612 | 5,652 | 5,693 | 5,733 | 130 |
| 140 | 5,733 | 5,774 | 5,814 | 5,855 | 5,895 | 5,936 | 5,976 | 6,016 | 6,057 | 6,097 | 6,137 | 140 |
| 150 | 6,177 | 6,217 | 6,258 | 6,298 | 6,338 | 6,378 | 6,419 | 6,459 | 6,499 | 6,539 | 6,579 | 150 |
| 160 | 6,579 | 6,619 | 6,659 | 6,699 | 6,739 | 6,779 | 6,819 | 6,859 | 6,899 | 6,939 | 6,979 | 160 |
| 170 | 6,979 | 7,019 | 7,059 | 7,099 | 7,139 | 7,179 | 7,219 | 7,259 | 7,299 | 7,339 | 7,379 | 170 |
| 180 | 7,379 | 7,419 | 7,459 | 7,499 | 7,539 | 7,579 | 7,619 | 7,659 | 7,699 | 7,739 | 7,779 | 180 |
| 190 | 7,779 | 7,819 | 7,859 | 7,899 | 7,939 | 7,979 | 8,019 | 8,059 | 8,099 | 8,139 | 8,179 | 190 |
| 200 | 8,179 | 8,219 | 8,259 | 8,299 | 8,339 | 8,379 | 8,419 | 8,459 | 8,499 | 8,539 | 8,579 | 200 |
| 210 | 8,579 | 8,619 | 8,659 | 8,699 | 8,739 | 8,779 | 8,819 | 8,859 | 8,899 | 8,939 | 8,979 | 210 |
| 220 | 8,979 | 9,019 | 9,059 | 9,099 | 9,139 | 9,179 | 9,219 | 9,259 | 9,299 | 9,339 | 9,379 | 220 |
| 230 | 9,379 | 9,419 | 9,459 | 9,499 | 9,539 | 9,579 | 9,619 | 9,659 | 9,699 | 9,739 | 9,779 | 230 |
| 240 | 9,779 | 9,819 | 9,859 | 9,899 | 9,939 | 9,979 | 10,019 | 10,059 | 10,099 | 10,139 | 10,179 | 240 |
| 250 | 10,179 | 10,219 | 10,259 | 10,299 | 10,339 | 10,379 | 10,419 | 10,459 | 10,499 | 10,539 | 10,579 | 250 |
| 260 | 10,579 | 10,619 | 10,659 | 10,699 | 10,739 | 10,779 | 10,819 | 10,859 | 10,899 | 10,939 | 10,979 | 260 |
| 270 | 10,979 | 11,019 | 11,059 | 11,099 | 11,139 | 11,179 | 11,219 | 11,259 | 11,299 | 11,339 | 11,379 | 270 |
| 280 | 11,379 | 11,419 | 11,459 | 11,499 | 11,539 | 11,579 | 11,619 | 11,659 | 11,699 | 11,739 | 11,779 | 280 |
| 290 | 11,779 | 11,819 | 11,859 | 11,899 | 11,939 | 11,979 | 12,019 | 12,059 | 12,099 | 12,139 | 12,179 | 290 |
| 300 | 12,179 | 12,219 | 12,259 | 12,299 | 12,339 | 12,379 | 12,419 | 12,459 | 12,499 | 12,539 | 12,579 | 300 |
| 310 | 12,579 | 12,619 | 12,659 | 12,699 | 12,739 | 12,779 | 12,819 | 12,859 | 12,899 | 12,939 | 12,979 | 310 |
| 320 | 12,979 | 13,019 | 13,059 | 13,099 | 13,139 | 13,179 | 13,219 | 13,259 | 13,299 | 13,339 | 13,379 | 320 |
| 330 | 13,379 | 13,419 | 13,459 | 13,499 | 13,539 | 13,579 | 13,619 | 13,659 | 13,699 | 13,739 | 13,779 | 330 |
| 340 | 13,779 | 13,819 | 13,859 | 13,899 | 13,939 | 13,979 | 14,019 | 14,059 | 14,099 | 14,139 | 14,179 | 340 |
| 350 | 14,179 | 14,219 | 14,259 | 14,299 | 14,339 | 14,379 | 14,419 | 14,459 | 14,499 | 14,539 | 14,579 | 350 |
| 360 | 14,579 | 14,619 | 14,659 | 14,699 | 14,739 | 14,779 | 14,819 | 14,859 | 14,899 | 14,939 | 14,979 | 360 |
| 370 | 14,979 | 15,019 | 15,059 | 15,099 | 15,139 | 15,179 | 15,219 | 15,259 | 15,299 | 15,339 | 15,379 | 370 |
| 380 | 15,379 | 15,419 | 15,459 | 15,499 | 15,539 | 15,579 | 15,619 | 15,659 | 15,699 | 15,739 | 15,779 | 380 |
| 390 | 15,779 | 15,819 | 15,859 | 15,899 | 15,939 | 15,979 | 16,019 | 16,059 | 16,099 | 16,139 | 16,179 | 390 |
| 400 | 16,179 | 16,219 | 16,259 | 16,299 | 16,339 | 16,379 | 16,419 | 16,459 | 16,499 | 16,539 | 16,579 | 400 |
| 410 | 16,579 | 16,619 | 16,659 | 16,699 | 16,739 | 16,779 | 16,819 | 16,859 | 16,899 | 16,939 | 16,979 | 410 |
| 420 | 16,979 | 17,019 | 17,059 | 17,099 | 17,139 | 17,179 | 17,219 | 17,259 | 17,299 | 17,339 | 17,379 | 420 |
| 430 | 17,379 | 17,419 | 17,459 | 17,499 | 17,539 | 17,579 | 17,619 | 17,659 | 17,699 | 17,739 | 17,779 | 430 |
| 440 | 17,779 | 17,819 | 17,859 | 17,899 | 17,939 | 17,979 | 18,019 | 18,059 | 18,099 | 18,139 | 18,179 | 440 |
| 450 | 18,179 | 18,219 | 18,259 | 18,299 | 18,339 | 18,379 | 18,419 | 18,459 | 18,499 | 18,539 | 18,579 | 450 |
| 460 | 18,579 | 18,619 | 18,659 | 18,699 | 18,739 | 18,779 | 18,819 | 18,859 | 18,899 | 18,939 | 18,979 | 460 |
| 470 | 18,979 | 19,019 | 19,059 | 19,099 | 19,139 | 19,179 | 19,219 | 19,259 | 19,299 | 19,339 | 19,379 | 470 |
| 480 | 19,379 | 19,419 | 19,459 | 19,499 | 19,539 | 19,579 | 19,619 | 19,659 | 19,699 | 19,739 | 19,779 | 480 |
| 490 | 19,779 | 19,819 | 19,859 | 19,899 | 19,939 | 19,979 | 20,019 | 20,059 | 20,099 | 20,139 | 20,179 | 490 |
| 500 | 20,179 | 20,219 | 20,259 | 20,299 | 20,339 | 20,379 | 20,419 | 20,459 | 20,499 | 20,539 | 20,579 | 500 |
| 510 | 20,579 | 20,619 | 20,659 | 20,699 | 20,739 | 20,779 | 20,819 | 20,859 | 20,899 | 20,939 | 20,979 | 510 |
| 520 | 20,979 | 21,019 | 21,059 | 21,099 | 21,139 | 21,179 | 21,219 | 21,259 | 21,299 | 21,339 | 21,379 | 520 |
| 530 | 21,379 | 21,419 | 21,459 | 21,499 | 21,539 | 21,579 | 21,619 | 21,659 | 21,699 | 21,739 | 21,779 | 530 |
| 540 | 21,779 | 21,819 | 21,859 | 21,899 | 21,939 | 21,979 | 22,019 | 22,059 | 22,099 | 22,139 | 22,179 | 540 |
| 550 | 22,179 | 22,219 | 22,259 | 22,299 | 22,339 | 22,379 | 22,419 | 22,459 | 22,499 | 22,539 | 22,579 | 550 |
| 560 | 22,579 | 22,619 | 22,659 | 22,699 | 22,739 | 22,779 | 22,819 | 22,859 | 22,899 | 22,939 | 22,979 | 560 |
| 570 | 22,979 | 23,019 | 23,059 | 23,099 | 23,139 | 23,179 | 23,219 | 23,259 | 23,299 | 23,339 | 23,379 | 570 |
| 580 | 23,379 | 23,419 | 23,459 | 23,499 | 23,539 | 23,579 | 23,619 | 23,659 | 23,699 | 23,739 | 23,779 | 580 |
| 590 | 23,779 | 23,819 | 23,859 | 23,899 | 23,939 | 23,979 | 24,019 | 24,059 | 24,099 | 24,139 | 24,179 | 590 |
| 600 | 24,179 | 24,219 | 24,259 | 24,299 | 24,339 | 24,379 | 24,419 | 24,459 | 24,499 | 24,539 | 24,579 | 600 |
| 610 | 24,579 | 24,619 | 24,659 | 24,699 | 24,739 | 24,779 | 24,819 | 24,859 | 24,899 | 24,939 | 24,979 | 610 |
| 620 | 24,979 | 25,019 | 25,059 | 25,099 | 25,139 | 25,179 | 25,219 | 25,259 | 25,299 | 25,339 | 25,379 | 620 |
| 630 | 25,379 | 25,419 | 25,459 | 25,499 | 25,539 | 25,579 | 25,619 | 25,659 | 25,699 | 25,739 | 25,779 | 630 |
| 640 | 25,779 | 25,819 | 25,859 | 25,899 | 25,939 | 25,979 | 26,019 | 26,059 | 26,099 | 26,139 | 26,179 | 640 |
| 650 | 26,179 | 26,219 | 26,259 | 26,299 | 26,339 | 26,379 | 26,419 | 26,459 | 26,499 | 26,539 | 26,579 | 650 |
| 660 | 26,579 | 26,619 | 26,659 | 26,699 | 26,739 | 26,779 | 26,819 | 26,859 | 26,899 | 26,939 | 26,979 | 660 |
| 670 | 26,979 | 27,019 | 27,059 | 27,099 | 27,139 | 27,179 | 27,219 | 27,259 | 27,299 | 27,339 | 27,379 | 670 |
| 680 | 27,379 | 27,419 | 27,459 | 27,499 | 27,539 | 27,579 | 27,619 | 27,659 | 27,699 | 27,739 | 27,779 | 680 |
| 690 | 27,779 | 27,819 | 27,859 | 27,899 | 27,939 | 27,979 | 28,019 | 28,059 | 28,099 | 28,139 | 28,179 | 690 |
| 700 | 28,179 | 28,219 | 28,259 | 28,299 | 28,339 | 28,379 | 28,419 | 28,459 | 28,499 | 28,539 | 28,579 | 700 |
| 710 | 28,579 | 28,619 | 28,659 | 28,699 | 28,739 | 28,779 | 28,819 | 28,859 | 28,899 | 28,939 | 28,979 | 710 |
| 720 | 28,979 | 29,019 | 29,059 | 29,099 | 29,139 | 29,179 | 29,219 | 29,259 | 29,299 | 29,339 | 29,379 | 720 |

(IPTS 1961)

| V • C | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | • C |
|-------|--------|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| | | Millivolts | | | | | | | | | | |
| 730 | 30.383 | 30.424 | 30.466 | 30.508 | 30.549 | 30.591 | 30.632 | 30.674 | 30.716 | 30.757 | 30.799 | 730 |
| 740 | 30.799 | 30.840 | 30.882 | 30.924 | 30.965 | 31.007 | 31.048 | 31.090 | 31.131 | 31.173 | 31.214 | 740 |
| 750 | 31.214 | 31.256 | 31.297 | 31.339 | 31.380 | 31.422 | 31.463 | 31.504 | 31.546 | 31.587 | 31.629 | 750 |
| 760 | 31.629 | 31.670 | 31.712 | 31.753 | 31.794 | 31.836 | 31.877 | 31.918 | 31.960 | 32.001 | 32.042 | 760 |
| 770 | 32.042 | 32.084 | 32.125 | 32.166 | 32.207 | 32.249 | 32.290 | 32.331 | 32.372 | 32.414 | 32.455 | 770 |
| 780 | 32.455 | 32.496 | 32.537 | 32.578 | 32.619 | 32.660 | 32.702 | 32.743 | 32.784 | 32.825 | 32.866 | 780 |
| 790 | 32.866 | 32.907 | 32.948 | 32.989 | 33.031 | 33.072 | 33.113 | 33.154 | 33.195 | 33.236 | 33.277 | 790 |
| 800 | 33.277 | 33.318 | 33.359 | 33.400 | 33.441 | 33.482 | 33.523 | 33.564 | 33.604 | 33.645 | 33.686 | 800 |
| 810 | 33.686 | 33.727 | 33.768 | 33.809 | 33.850 | 33.891 | 33.932 | 33.973 | 34.013 | 34.054 | 34.095 | 810 |
| 820 | 34.095 | 34.136 | 34.177 | 34.217 | 34.258 | 34.299 | 34.339 | 34.380 | 34.421 | 34.461 | 34.502 | 820 |
| 830 | 34.502 | 34.543 | 34.583 | 34.624 | 34.665 | 34.705 | 34.746 | 34.787 | 34.827 | 34.868 | 34.909 | 830 |
| 840 | 34.909 | 34.949 | 34.990 | 35.030 | 35.071 | 35.111 | 35.152 | 35.192 | 35.233 | 35.273 | 35.314 | 840 |
| 850 | 35.314 | 35.354 | 35.395 | 35.435 | 35.476 | 35.516 | 35.557 | 35.597 | 35.637 | 35.678 | 35.719 | 850 |
| 860 | 35.718 | 35.758 | 35.799 | 35.839 | 35.880 | 35.920 | 35.960 | 36.000 | 36.041 | 36.081 | 36.121 | 860 |
| 870 | 36.121 | 36.162 | 36.202 | 36.242 | 36.282 | 36.323 | 36.363 | 36.403 | 36.443 | 36.483 | 36.524 | 870 |
| 880 | 36.524 | 36.564 | 36.604 | 36.644 | 36.684 | 36.724 | 36.764 | 36.804 | 36.844 | 36.885 | 36.925 | 880 |
| 890 | 36.925 | 36.965 | 37.005 | 37.045 | 37.085 | 37.125 | 37.165 | 37.205 | 37.245 | 37.285 | 37.325 | 890 |
| 900 | 37.325 | 37.365 | 37.405 | 37.445 | 37.484 | 37.524 | 37.564 | 37.604 | 37.644 | 37.684 | 37.724 | 900 |
| 910 | 37.724 | 37.764 | 37.803 | 37.843 | 37.883 | 37.923 | 37.963 | 38.002 | 38.042 | 38.082 | 38.122 | 910 |
| 920 | 38.122 | 38.162 | 38.201 | 38.241 | 38.281 | 38.320 | 38.360 | 38.400 | 38.440 | 38.479 | 38.519 | 920 |
| 930 | 38.519 | 38.558 | 38.598 | 38.638 | 38.677 | 38.717 | 38.756 | 38.796 | 38.836 | 38.875 | 38.915 | 930 |
| 940 | 38.915 | 38.954 | 38.994 | 39.033 | 39.073 | 39.112 | 39.152 | 39.191 | 39.231 | 39.270 | 39.310 | 940 |
| 950 | 39.310 | 39.349 | 39.388 | 39.428 | 39.467 | 39.507 | 39.546 | 39.585 | 39.625 | 39.664 | 39.703 | 950 |
| 960 | 39.703 | 39.743 | 39.782 | 39.821 | 39.861 | 39.900 | 39.939 | 39.979 | 40.018 | 40.057 | 40.096 | 960 |
| 970 | 40.096 | 40.136 | 40.175 | 40.214 | 40.253 | 40.292 | 40.332 | 40.371 | 40.410 | 40.449 | 40.488 | 970 |
| 980 | 40.488 | 40.527 | 40.566 | 40.605 | 40.644 | 40.684 | 40.723 | 40.762 | 40.801 | 40.840 | 40.879 | 980 |
| 990 | 40.879 | 40.918 | 40.957 | 40.996 | 41.035 | 41.074 | 41.113 | 41.152 | 41.191 | 41.230 | 41.269 | 990 |
| 1 000 | 41.269 | 41.308 | 41.347 | 41.385 | 41.424 | 41.463 | 41.502 | 41.541 | 41.580 | 41.619 | 41.657 | 1 000 |
| 1 010 | 41.657 | 41.696 | 41.735 | 41.774 | 41.813 | 41.851 | 41.890 | 41.929 | 41.968 | 42.007 | 42.045 | 1 010 |
| 1 020 | 42.045 | 42.084 | 42.123 | 42.161 | 42.200 | 42.239 | 42.277 | 42.316 | 42.355 | 42.393 | 42.432 | 1 020 |
| 1 030 | 42.432 | 42.470 | 42.509 | 42.548 | 42.586 | 42.625 | 42.663 | 42.702 | 42.740 | 42.779 | 42.817 | 1 030 |
| 1 040 | 42.817 | 42.855 | 42.894 | 42.932 | 42.971 | 43.010 | 43.048 | 43.087 | 43.125 | 43.164 | 43.202 | 1 040 |
| 1 050 | 43.202 | 43.240 | 43.279 | 43.317 | 43.355 | 43.394 | 43.432 | 43.471 | 43.509 | 43.547 | 43.585 | 1 050 |
| 1 060 | 43.585 | 43.624 | 43.662 | 43.700 | 43.739 | 43.777 | 43.816 | 43.854 | 43.893 | 43.931 | 43.969 | 1 060 |
| 1 070 | 43.969 | 44.008 | 44.046 | 44.084 | 44.123 | 44.161 | 44.199 | 44.238 | 44.276 | 44.314 | 44.353 | 1 070 |
| 1 080 | 44.353 | 44.391 | 44.429 | 44.467 | 44.505 | 44.544 | 44.582 | 44.620 | 44.658 | 44.697 | 44.735 | 1 080 |
| 1 090 | 44.735 | 44.773 | 44.811 | 44.849 | 44.887 | 44.925 | 44.963 | 45.001 | 45.039 | 45.077 | 45.115 | 1 090 |
| 1 100 | 45.115 | 45.153 | 45.191 | 45.229 | 45.267 | 45.305 | 45.343 | 45.381 | 45.419 | 45.457 | 45.495 | 1 100 |
| 1 110 | 45.495 | 45.533 | 45.571 | 45.609 | 45.647 | 45.685 | 45.723 | 45.761 | 45.799 | 45.837 | 45.875 | 1 110 |
| 1 120 | 45.875 | 45.913 | 45.951 | 45.989 | 46.027 | 46.065 | 46.103 | 46.141 | 46.179 | 46.217 | 46.255 | 1 120 |
| 1 130 | 46.255 | 46.293 | 46.331 | 46.369 | 46.407 | 46.445 | 46.483 | 46.521 | 46.559 | 46.597 | 46.635 | 1 130 |
| 1 140 | 46.635 | 46.673 | 46.711 | 46.749 | 46.787 | 46.825 | 46.863 | 46.901 | 46.939 | 46.977 | 47.015 | 1 140 |
| 1 150 | 47.015 | 47.053 | 47.091 | 47.129 | 47.167 | 47.205 | 47.243 | 47.281 | 47.319 | 47.357 | 47.395 | 1 150 |
| 1 160 | 47.395 | 47.433 | 47.471 | 47.509 | 47.547 | 47.585 | 47.623 | 47.661 | 47.699 | 47.737 | 47.775 | 1 160 |
| 1 170 | 47.775 | 47.813 | 47.851 | 47.889 | 47.927 | 47.965 | 48.003 | 48.041 | 48.079 | 48.117 | 48.155 | 1 170 |
| 1 180 | 48.155 | 48.193 | 48.231 | 48.269 | 48.307 | 48.345 | 48.383 | 48.421 | 48.459 | 48.497 | 48.535 | 1 180 |
| 1 190 | 48.535 | 48.573 | 48.611 | 48.649 | 48.687 | 48.725 | 48.763 | 48.801 | 48.839 | 48.877 | 48.915 | 1 190 |
| 1 200 | 48.915 | 48.953 | 48.991 | 49.029 | 49.067 | 49.105 | 49.143 | 49.181 | 49.219 | 49.257 | 49.295 | 1 200 |
| 1 210 | 49.295 | 49.333 | 49.371 | 49.409 | 49.447 | 49.485 | 49.523 | 49.561 | 49.599 | 49.637 | 49.675 | 1 210 |
| 1 220 | 49.675 | 49.713 | 49.751 | 49.789 | 49.827 | 49.865 | 49.903 | 49.941 | 49.979 | 50.017 | 50.055 | 1 220 |
| 1 230 | 50.055 | 50.093 | 50.131 | 50.169 | 50.207 | 50.245 | 50.283 | 50.321 | 50.359 | 50.397 | 50.435 | 1 230 |
| 1 240 | 50.435 | 50.473 | 50.511 | 50.549 | 50.587 | 50.625 | 50.663 | 50.701 | 50.739 | 50.777 | 50.815 | 1 240 |
| 1 250 | 50.815 | 50.853 | 50.891 | 50.929 | 50.967 | 51.005 | 51.043 | 51.081 | 51.119 | 51.157 | 51.195 | 1 250 |
| 1 260 | 51.195 | 51.233 | 51.271 | 51.309 | 51.347 | 51.385 | 51.423 | 51.461 | 51.499 | 51.537 | 51.575 | 1 260 |
| 1 270 | 51.575 | 51.613 | 51.651 | 51.689 | 51.727 | 51.765 | 51.803 | 51.841 | 51.879 | 51.917 | 51.955 | 1 270 |
| 1 280 | 51.955 | 51.993 | 52.031 | 52.069 | 52.107 | 52.145 | 52.183 | 52.221 | 52.259 | 52.297 | 52.335 | 1 280 |
| 1 290 | 52.335 | 52.373 | 52.411 | 52.449 | 52.487 | 52.525 | 52.563 | 52.601 | 52.639 | 52.677 | 52.715 | 1 290 |
| 1 300 | 52.715 | 52.753 | 52.791 | 52.829 | 52.867 | 52.905 | 52.943 | 52.981 | 53.019 | 53.057 | 53.095 | 1 300 |
| 1 310 | 53.095 | 53.133 | 53.171 | 53.209 | 53.247 | 53.285 | 53.323 | 53.361 | 53.399 | 53.437 | 53.475 | 1 310 |
| 1 320 | 53.475 | 53.513 | 53.551 | 53.589 | 53.627 | 53.665 | 53.703 | 53.741 | 53.779 | 53.817 | 53.855 | 1 320 |
| 1 330 | 53.855 | 53.893 | 53.931 | 53.969 | 54.007 | 54.045 | 54.083 | 54.121 | 54.159 | 54.197 | 54.235 | 1 330 |
| 1 340 | 54.235 | 54.273 | 54.311 | 54.349 | 54.387 | 54.425 | 54.463 | 54.501 | 54.539 | 54.577 | 54.615 | 1 340 |
| 1 350 | 54.615 | 54.653 | 54.691 | 54.729 | 54.767 | 54.805 | 54.843 | 54.881 | 54.919 | 54.957 | 54.995 | 1 350 |
| 1 360 | 54.995 | 55.033 | 55.071 | 55.109 | 55.147 | 55.185 | 55.223 | 55.261 | 55.299 | 55.337 | 55.375 | 1 360 |
| 1 370 | 55.375 | 55.413 | 55.451 | 55.489 | 55.527 | 55.565 | 55.603 | 55.641 | 55.679 | 55.717 | 55.755 | 1 370 |

ANEXO NO 8

CALIBRACION DEL HORNO

CONACYT Laboratorio Nacional de Metrología Legal

| PATRON °C | TRABAJO °C |
|--------------|---------------|
| 56 | 50 |
| 102 | 100 |
| 167 | 200 |
| 277 | 300 |
| 365 | 400 |
| 455 | 500 |
| 552 | 600 |
| 642 | 700 |
| 740 | 800 |
| 874 | 900 |

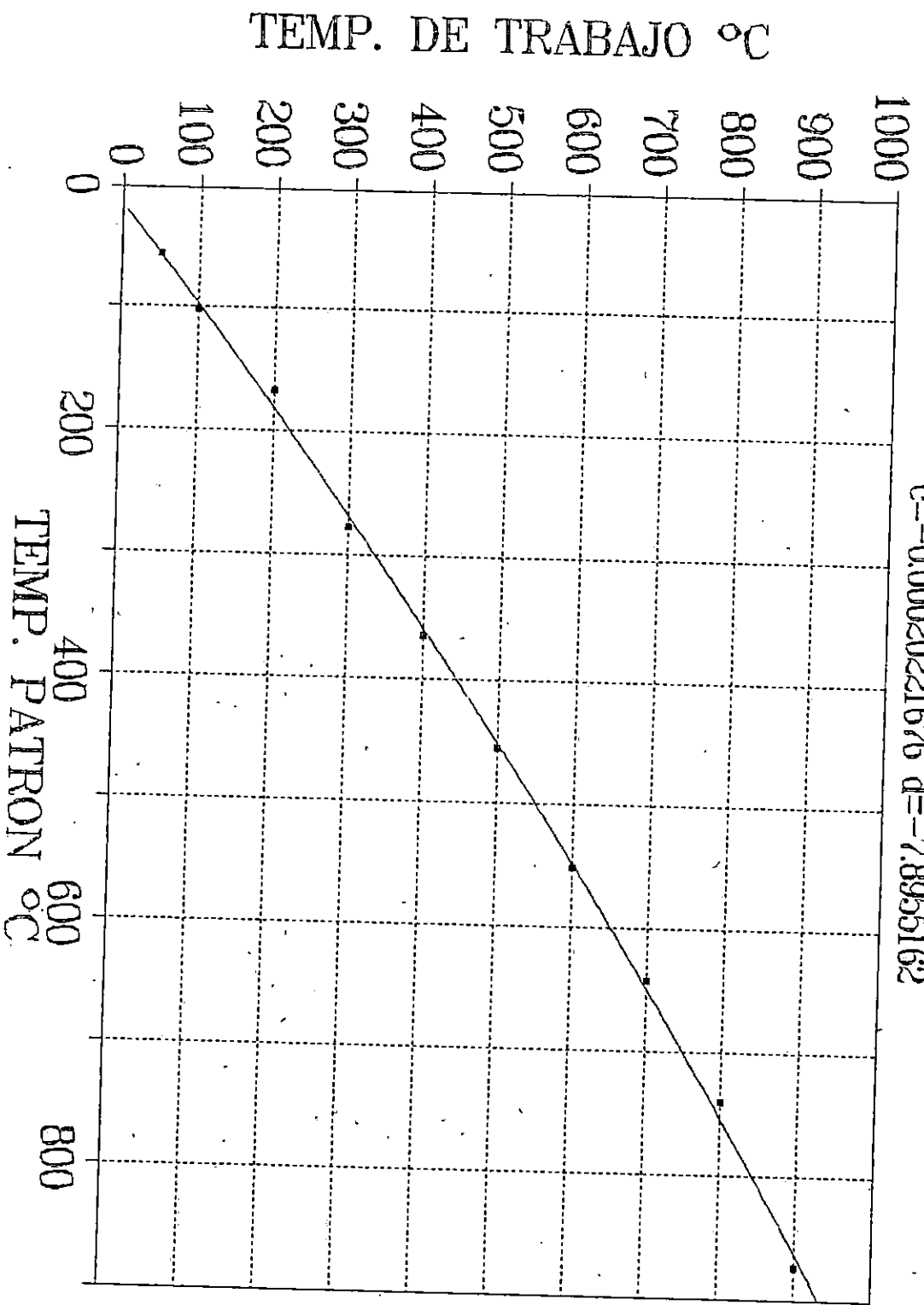
CURVA DE CALIBRACION

$r^2=0.999005519$ FitStdev=11.3866338 Fstqt=2009.09974

Rank 241 Egn 2050 $y=a+bx+cx^2+d/x$

$a=-18.434533$ $b=1.2382004$

$c=-0.00020221676$ $d=-7.8955162$

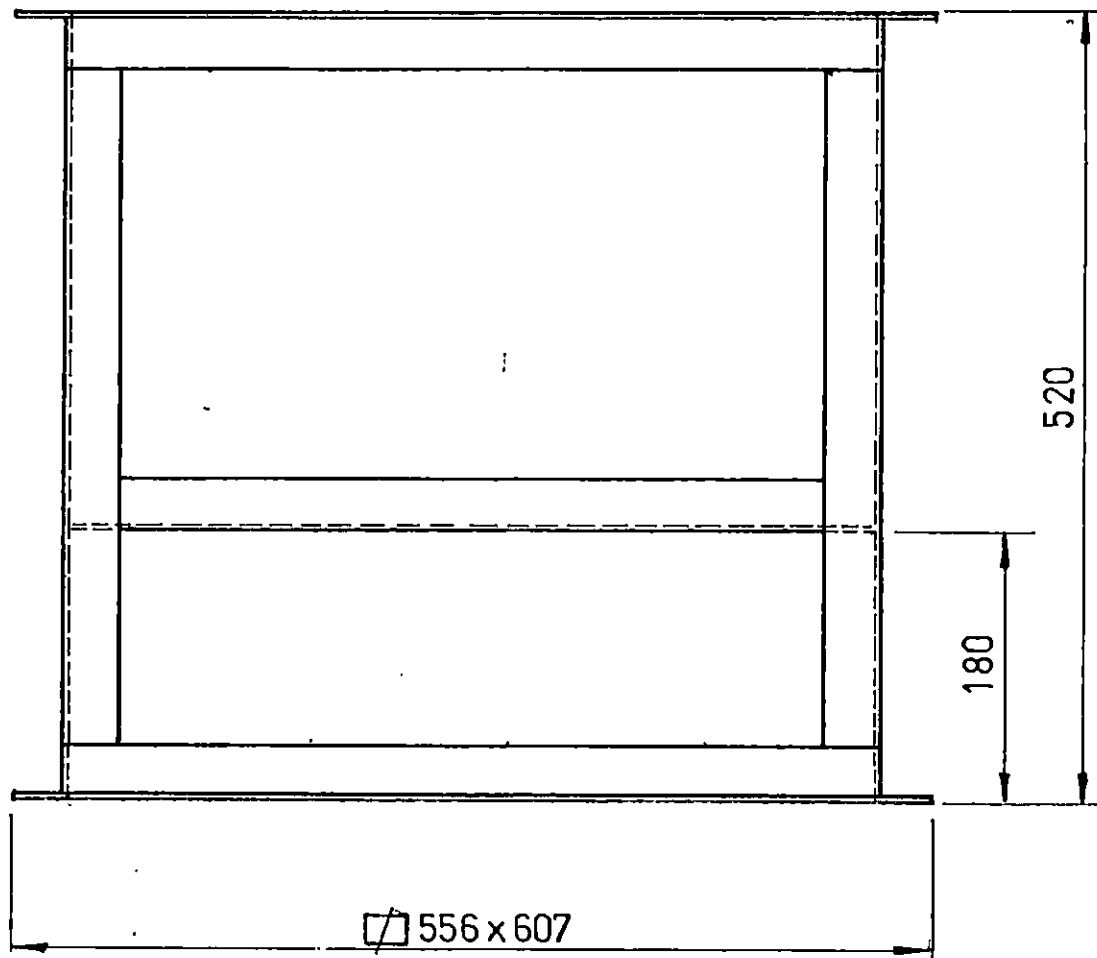


ANEXO B

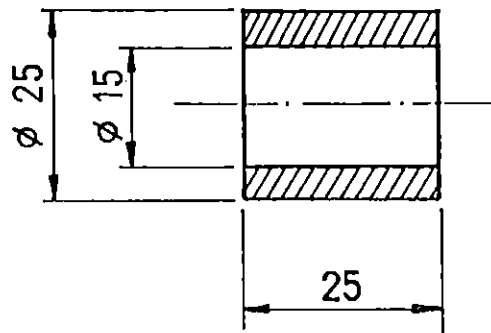
DIBUJOS TECNICOS - MECANICOS

ANEXO B-1

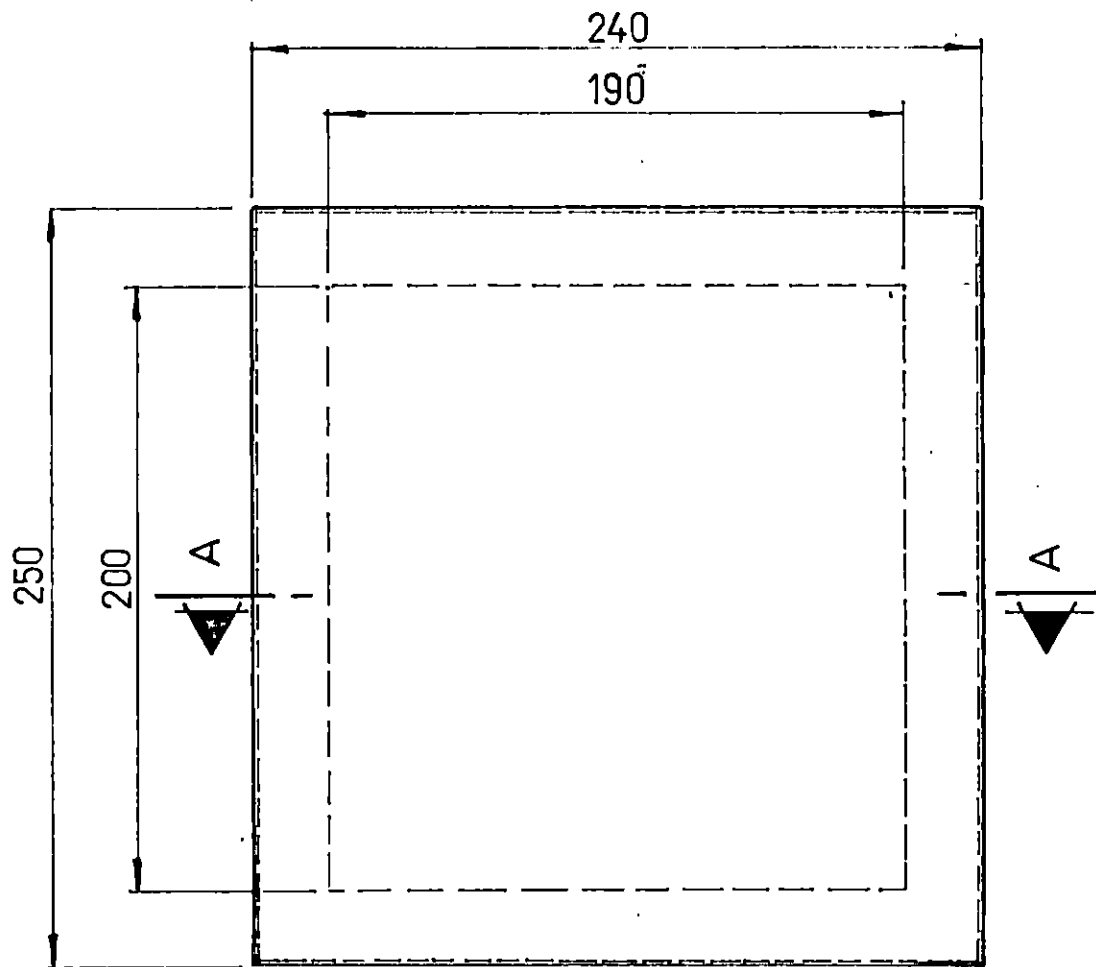
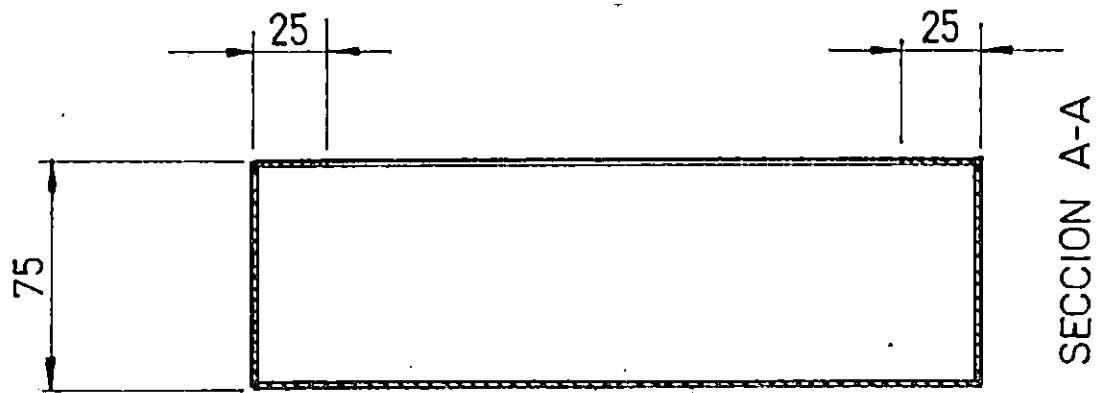
| 28 | 1 | SOPORTE DE LA HALADERA | | | 18x90x3 |
|---|-----|----------------------------|--|-----------|---------------------------|
| 27 | 1 | MANECILLA | | | - |
| 26 | 17 | TUERCA | | | 3/8-16UNC |
| 25 | 3 | TORNILLO GOLOSO | | | Nº 8-32UNC |
| 24 | 20 | TORNILLO CABEZA REDONDA | | | Nº 10-24UNC |
| 23 | 16 | TORNILLO CABEZA HEXAGONAL | | | 3/8-16UNC |
| 22 | 7 | TUBO CERAMICO | | | ∅12x120 |
| 21 | 1 | TUBO CERAMICO | | | ∅15x120 |
| 20 | 3 | RESISTENCIAS ELECTRICAS | | | |
| 19 | 2 | BISAGRAS | | | |
| 18 | 1 | TAPADERA DE CONTROL | HIERRO | | 190x455 |
| 17 | 1 | CUBIERTA POSTERIOR | | | |
| 16 | 1 | MANECILLA DEL PASADOR | | | |
| 15 | 1 | PASADOR CON LEVA | ACERO | AISI 1020 | ∅25x∅125x80 |
| 14 | 1 | SOPORTE DE PASADOR | | | |
| 13 | 1 | CUBIERTA DE LA MIRILLA | HIERRO | | ∅25x∅10x3 |
| 12 | | FIBRA CERAMICA | | | |
| 11 | 1 | PUERTA | | | 250x75x240 |
| 10 | 1 | BUJE | ACERO | AISI 1020 | ∅25x∅13x25 |
| 9 | 1 | LAMINA PERFORADA POSTERIOR | HIERRO GALV. | | 200x470x1.5 |
| 8 | 34 | LADRILLO REFRACTARIO | EMPIRE M | | 114x229x64 |
| 7 | 1 | TAPADERA | HIERRO | | 556x607x3 |
| 6 | 1 | LAMINA FRONTAL | HIERRO | | 300x450x3 |
| 5 | 1 | LAMINA POSTERIOR | HIERRO | | 300x450x3 |
| 4 | 2 | LAMINA LATERAL | HIERRO | | 300x500x3 |
| 3 | 1 | LAMINA DE SOPORTE | HIERRO | | 450x500x5 |
| 2 | 2 | LAMINA PERFORADA LATERAL | HIERRO GALV. | | 200x500x3 |
| 1 | 1 | ESTRUCTURA DEL HORNO | HIERRO ANG. | | 556x607x520 |
| POS | CAN | DENOMINACION | MATERIAL | NORMA | MEDIDAS |
| UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA | | | DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN HORNO ELECTRICO PARA LABORA- TORIOS DE T. T. | | PLANO Nº 1 Medidas: mm |



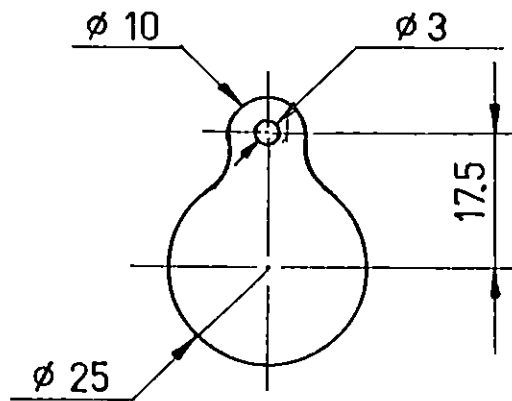
| POS. | CANT. | DENOMINACION | MATERIAL | NORMA | MEDIDAS |
|---|-------|---------------------|---|-------|--------------------------------|
| 1 | 1 | ESTRUCTURA METALICA | ANG. 1/2"x1/2" | | |
| UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA | | | DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN HORNO ELECTRICO PARA EFECTUAR LABORATORIOS DE TRATAMIENTOS TERMICOS | | ESCALA 1:5 MEDIDAS mm |



| POS. | CANT. | DENOMINACION | MATERIAL | NORMA | MEDIDAS |
|---|-------|--------------|---|-------|--------------------------------|
| 10 | 1 | BUJE | | | |
| UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA | | | DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN HORNO ELECTRICO PARA EFECTUAR LABORATORIOS DE TRATAMIENTOS TERMICOS | | ESCALA 1:1 MEDIDAS mm |

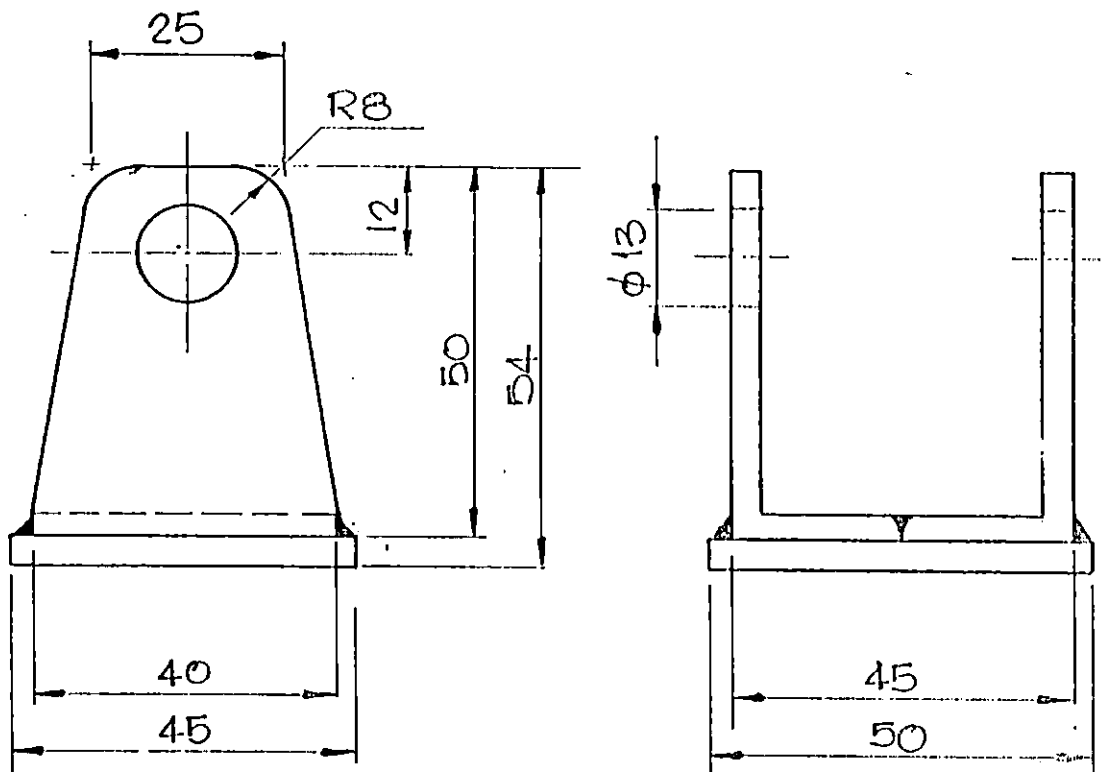


| POS. | CANT. | DENOMINACION | MATERIAL | NORMA | MEDIDAS |
|---|-------|--------------|---|-------|----------------------------------|
| 11 | 1 | PUERTA | | | |
| UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA | | | DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN HORNO ELECTRICO PARA EFECTUAR LABORATORIOS DE TRATAMIENTOS TERMICOS | | ESCALA 1:2.5 MEDIDAS MM |

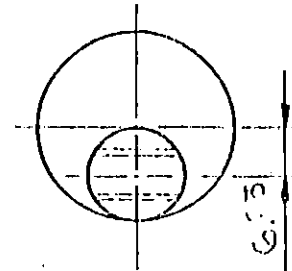
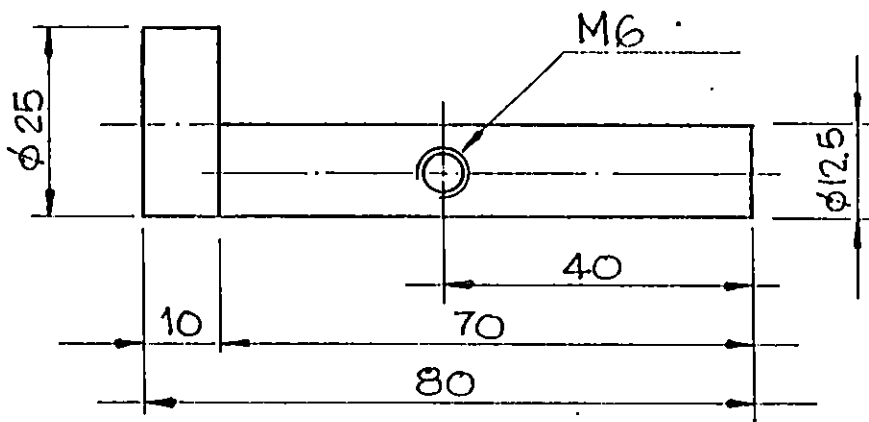


ESPESOR = 3 mm

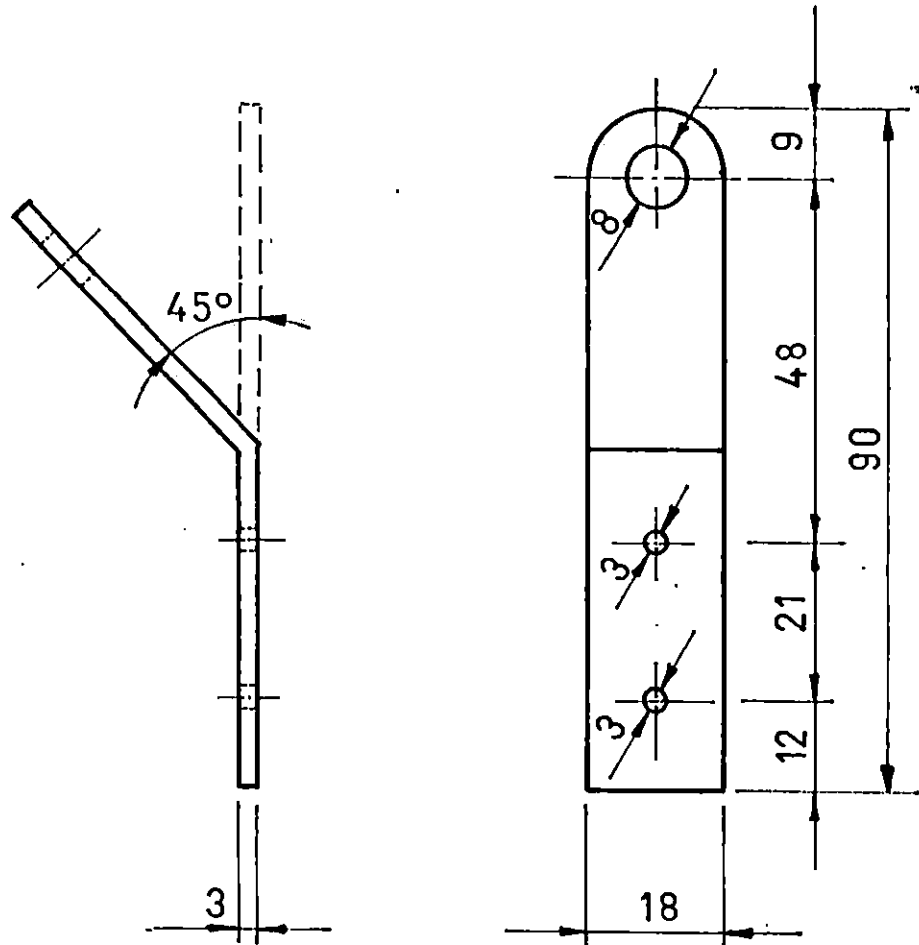
| | | | | | |
|---|-------|------------------------|---|-------|--------------------------------|
| 13 | 1 | CUBIERTA DE LA MIRILLA | | | |
| POB. | CANT. | DENOMINACION | MATERIAL | NORMA | MEDIDAS |
| UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA | | | DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN HORNO ELECTRICO PARA EFECTUAR LABORATORIOS DE TRATAMIENTOS TERMICOS | | ESCALA 1:1 MEDIDAS mm |



| | | | | | |
|---|-------|--------------|---|-------|------------------------------------|
| 14 | 1 | SOPORTE | | | 50 x 50 x 45 |
| POB. | CANT. | DENOMINACION | MATERIAL | NORMA | MEDIDAS |
| UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA | | | DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN HORNO ELECTRICO PARA EFECTUAR LABORATO- RIOS DE TRATAMIENTOS TERMICOS | | ESCALA 1:1 DIMENSIONES mm |



| | | | | | |
|---|-------|--------------|--|-------|------------------------------------|
| 15 | 1 | PASADOR | 1020 | | φ25. x 80 |
| POS. | CANT. | DENOMINACION | MATERIAL | NORMA | MEDIDAS |
| UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA | | | DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN HORNO ELECTRICO PARA EFECTUAR LABORATO RIOS DE TRATAMIENTOS TERMICOS | | ESCALA 1:1 DIMENSIONES mm |



| 28 | 1 | SOPORTE DE LA HALADERA | | | |
|------|-------|---|---|-------|--------------------------------|
| POS. | CANT. | DENOMINACION | MATERIAL | NORMA | MEDIDAS |
| | | UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA | DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN HORNO ELECTRICO PARA EFECTUAR LABORA- TORIOS DE TRATAMIENTOS TERMICOS | | ESCALA 1:1 MEDIDAS mm |

GLOSARIO.

ALEACION.

Sustancia con propiedades metálicas y compuesta por dos o más elementos químicos de los cuales por lo menos uno es un metal.

ACERO.

Aleación de base hierro, maleable en algún intervalo de la temperatura a que fue inicialmente fundida; contiene manganeso, carbono y a menudo otros elementos de aleación.

AUSTENIZADO.

Templado de la aleación ferrosa desde una temperatura superior al intervalo de transformación en un medio que tiene una rapidez de absorción de calor suficientemente alta para evitar la formación de productos de transformación a alta temperatura, y luego mantener la aleación hasta que se completa la transformación, a una temperatura inferior a la de la formación perlítica y superior a la de la formación martensítica.

AUSTENITA.

Solución sólida de uno o más elementos en hierro cúbico centrado en la cara. En general, el carbono está presente.

BAINITA.

Microconstituyente bifásico que contiene ferrita y cementita, se forma en aceros transformados isotérmicamente a relativamente bajas temperaturas.

CARBURO.

Compuesto de carbono con uno o más elementos metálicos.

CARBURIZADO.

Conjunto de técnicas de endurecimiento superficial por las cuales el carbono se difunde en el acero.

CARBONITRURACION.

Introducción de carbono y nitrógeno dentro de una aleación sólida ferrosa manteniéndola por encima de A_{c1} en una atmósfera que contiene gases apropiados, como hidrocarburos, monóxido de carbono y amoníaco. Las aleación carbonitrurada se endurece generalmente por temple.

CEMENTITA.

Compuesto intermetálico duro y frágil, Fe_3C , que cuando se dispersa aproximadamente proporciona el endurecimiento en los aceros.

CORROSION POR ESFUERZO.

Deterioro de un material en el cual un esfuerzo aplicado acelera la rapidez y el grado de corrosión.

CRISTALIZACION.

Separación, generalmente desde una fase líquida al enfriar, de una fase sólida cristalina.

DESCARBURACION.

Pérdida de carbono de la superficie de una aleación ferrosa como resultado de calentar en un medio que reacciona con el carbono presente en la superficie.

DUCTILIDAD.

Capacidad de un material para deformarse plásticamente sin fracturarse , medida por la elongación o reducción de área en una prueba tensil.

DUREZA.

Resistencia del metal a la penetración de otro cuerpo, sin embargo, el término puede referirse también a la resistencia al rayado, la abrasión o al corte.

ELONGACION.

En una prueba tensil, incremento de la longitud calibrada de la muestra, medida después de la fractura de la muestra en algún punto dentro de la longitud calibrada de la muestra, generalmente expresada como porcentaje de la longitud original de la muestra.

ENDURECIMIENTO POR INDUCCION.

Endurecimiento por temple en que el calor se genera por inducción eléctrica.

ENDURECIMIENTO POR LLAMA.

Endurecimiento por temple en que el calor es aplicado directamente por una llama.

ENFRIAMIENTO, RAPIDEZ CRITICA DE.

Rapidez mínima de enfriamiento continuo apenas suficiente para evitar transformaciones indeseadas. Para el acero, la rapidez mínima a que pueda enfriarse desde una temperatura superior a la crítica, para evitar la descomposición de austenita a cualquier temperatura superior a la M_s .

EUTECTICO.

Reacción de tres fases en la cual una fase líquida se transforma en dos fases sólidas.

EUTECTOIDE.

Reacción de tres fases en la que una fase sólida se transforma en dos fases sólidas diferentes.

FERRITA EUTECTOIDE.

Ferrita formada a partir de la austenita de composición eutectoide por la reacción eutectoide.

FERRITA PROEUTECTOIDE.

Ferrita que se separa de la austenita arriba de la temperatura eutectoide. El metal debe de contener menos carbón que la composición eutectoide.

FRAGILIDAD.

Calidad de un material que da lugar a la propagación de fisuras sin deformación plástica apreciable.

FUNDICION.

Proceso en que el metal fundido es forzado dentro de la cavidad de un molde de metal bajo la aplicación de alta presión. (También por gravedad).

GRANO.

Cristal individual en un metal o aleación policristalina.

MATERIALES CERAMICOS.

Materiales formados por compuestos de elementos metálicos y no metálicos.

MATRIZ.

Fase o agregado principal en la que existe otro constituyente.

METALES.

Materiales que consisten principalmente de elementos que liberan parte de sus electrones de valencia, caracterizados también por la disminución de su conductividad al elevar su temperatura.

M_s .

Temperatura a la que termina la transformación de austenita en martensita durante el enfriamiento.

MICROESTRUCTURA.

Estructura de aleaciones pulidas y atacadas químicamente revelada por un microscopio a una ampliación mayor de diez diámetros.

M_s .

Temperatura a la que empieza la transformación de austenita en martensita durante el enfriamiento.

NITRURACION.

Introducción de nitrógeno a la superficie de un acero para cambiar la propiedad de sus superficies, es decir, su dureza.

NORMALIZADO.

Tratamiento térmico simple obtenido por austenización y enfriamiento al aire para producir una estructura perlítica fina.

NUMERO DE DUREZA ROCKWELL (R).

Indice de dureza obtenida por métodos estandarizados. La dureza se calibra por la profundidad de huella hecha por el material. Hay muchas escalas de dureza Rockwell variables por indentador.

OXIDACION.

Reacción en la que existe un incremento en valencia resultante de una pérdida de electrones.

PERLITA.

Una microestructura de ferrita más un carburo laminar formado a partir de la austenita de composición eutectoide.

PROPIEDADES.

Atributos cuantitativos de los materiales, ejemplos, densidad, resistencia, conductividad.

PROPIEDADES MECANICAS.

Características de un material como respuesta a las fuerzas externas aplicadas.

PUNTO DE CEDENCIA.

Primer esfuerzo en un material, generalmente menor que el máximo esfuerzo que se puede obtener, en el que ocurre un incremento de deformación sin aumento de esfuerzo. Solo ciertos metales exhiben un punto de cedencia. Si hay un decremento de esfuerzo después de la cedencia, se puede establecer la diferencia entre los puntos superior e inferior de cedencia.

REACCION EUTECTICA.

Reacción isotérmica reversible en que una solución líquida se convierte en dos o más sólidos íntimamente mezclados al enfriar, cuyo número de sólidos formados es el mismo que el de componentes que integran el sistema.

REACCION EUTECTOIDE.

Reacción isotérmica reversible en la que una fase sólida (generalmente una solución sólida) se convierte en dos o más sólidos íntimamente mezclados al enfriar cuyo número de sólidos formados es el mismo que el de componentes en el sistema.

RECOCIDO.

Calentamiento y enfriamiento lento para causar ablandamiento, tenacidad, o liberar esfuerzos.

RECRISTALIZACION.

La formación de nuevos granos a partir de granos sometidos anteriormente a esfuerzo.

RED.

Un arreglo ordenado de puntos que dividen al espacio en porciones del mismo tamaño, dependiendo de la dirección.

RESISTIVIDAD TERMICA (ρ_T).

Resistividad eléctrica originada por la agitación térmica.

REVENIDO.

Un proceso para dar tenacidad en el cual se calienta la martensita para iniciar una microestructura de ferrita más carburo.

SOBRESATURACION.

Exceso de soluto más alta del límite de solubilidad; la más común se logra por superenfriamiento.

SOBRECALENTAMIENTO.

Calentar un metal o aleación a tan alta temperatura que sus propiedades se dañan.

TEMPERATURA EUTECTICA.

Temperatura de equilibrio, a la cual ocurre la reacción eutéctica, donde una solución líquida se convierte en dos o más sólidos íntimamente mezclados al enfriar.

TEMPERATURA EUTECTOIDE.

Temperatura de equilibrio a la cual se da la reacción

eutectoide, en la que una fase sólida (generalmente una solución sólida) se convierte en dos o más sólidos íntimamente mezclados al enfriar.

TEMPLADO.

Enfriamiento acelerado por inmersión agitando en agua o aceite.

TENACIDAD.

Capacidad de un metal para absorber energía y deformarse plásticamente antes de fracturarse. Generalmente es medida por la energía absorbida en un ensayo de cargas aplicadas con impacto sobre una barra muescada, pero el área bajo la curva Efuerzo-Deformación en el ensayo tensil también es una medida de tenacidad.

TERMISTOR.

Dispositivo semiconductor que es particularmente susceptible a los cambios en la temperatura, lo cual le permite servir como un medidor muy preciso de la misma.

TRATAMIENTO TERMICO.

Calentar y enfriar un metal o aleación sólida en tal forma que se obtengan las condiciones o propiedades deseadas. En esta definición no se incluye el calentamiento con el solo propósito de trabajar en caliente.