

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN HORNO ELÉCTRICO PARA EL SECADO DE LOS BOBINADOS DE MOTORES DE HASTA 10 HP

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGO EN ELECTROMECAÁNICA

JOSÉ PEDRO MÉNDEZ ALTAMIRANO
pedredenice@gmail.com

WILLIAM PATRICIO SUASNAVAS FLORES
patosuas.epn@hotmail.com

DIRECTOR: ING. VICENTE SALOMÓN TOAPANTA MUÑOZ
vicente.toapanta@epn.edu.ec

Quito, enero, 2012

DECLARACIÓN

Nosotros, José Pedro Méndez Altamirano y William Patricio Suasnavas Flores declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad intelectual, por su Reglamento y por la normalidad institucional vigente.

José Pero Méndez Altamirano

William Patricio Suasnavas Flores

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por José Pedro Méndez Altamirano y William Patricio Suasnavas Flores, bajo mi supervisión.

Ing. Vicente Salomón Toapanta Muñoz
DIRECTOR DE PROYECTO

AGRADECIMIENTO

Primeramente agradeciendo a Dios quien a guiado mi vida dándome fortaleza para enfrentar los retos de esta sociedad, doy gracias a mis padres; Lucila Altamirano y Francisco Méndez, quienes con amor y respeto me han apoyado para alcanzar las metas propuestas, ellos que con sus sabios consejos supieron guiarme por el camino del bien para lograr el triunfo en la vida, a mis dos hermosos hijos Denisse y Andy que fueron la inspiración y las ganas de estar siempre adelante.

Agradezco a mi director de proyecto de titulación Ing. Vicente Toapanta por guiarnos, apoyarnos y darnos la mano en la realización de este presente proyecto, a mis distinguidos profesores, a mi prestigiosa y querida universidad por darme los conocimientos necesarios para llegar a ser un excelente profesional y contribuir con el desarrollo de este país.

Pedro

DEDICATORIA

A mis padres Lucila y Francisco, que aunque a la distancia siempre me guiaban con sus consejos, cariño y experiencia durante toda mi vida y tuvieron la paciencia y el amor para educarme, y convertirme en un hombre de bien, sin su apoyo incondicional no lo hubiese logrado.

A mis hijos Andy y Denisse quienes fueron la base principal y la fortaleza para seguir adelante.

A mi esposa Carolina por entender y comprender que el tiempo de sacrificio tiene siempre una recompensa.

Pedro

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme salud y constancia para lograr una meta más en mi vida.

A mi familia por su constante apoyo y en especial a mis padres María y Vicente.

Al Ing. Vicente Toapanta por dirigir este proyecto y brindarme su apoyo incondicional durante la realización del mismo.

A mi universidad por darme una educación del más alto nivel.

A mis amigos y compañeros de la poli durante todos los años de estudio.

William

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a mis padres, cuyo amor y confianza me impulsan a emprender nuevos retos, alcanzar objetivos planteados, perseverar constantemente y ser una mejor persona cada día.

A mi esposa Juliana, a mi hijo Santiago, cuya compañía y consejos son la muestra de amor que me alienta cada día.

A mis hermanos, por prestarme ese apoyo incondicional.

William

CONTENIDO

Resumen	1
Introducción	2

CAPÍTULO 1

FUNDAMENTO TEÓRICO

1.1 Generalidades	3
1.2 Termodinámica	3
1.2.1 Principio Cero de Termodinámica.....	4
1.2.1.1 Equilibrio térmico	4
1.2.1.2 Temperatura	4
1.2.1.2.1 Medición de la temperatura	4
1.2.1.2.2 Termopares	5
1.2.1.2.3 Escalas de Temperatura	6
1.2.1.2.4 Conversión de Temperaturas	6
1.2.2 Primer principio de termodinámica	7
1.2.2.1 Calor	7
1.2.2.1.1 Calor específico.	7
1.2.2.1.2 Capacidad calórica.	8
1.2.3 Segundo principio de termodinámica.....	9
1.2.4 Tercer principio de termodinámica.....	9
1.3 Transferencia de calor	9
1.3.1 Transferencia de calor por conducción	10
1.3.2 Transferencia de calor por convección	10
1.3.2.1 Transferencia de calor por convección forzada	10
1.3.2.2 Transferencia de calor por convección libre o natural.....	10

1.3.3	Transferencia de calor por radiación.....	10
1.4	Fundamentos básicos de hornos eléctricos de resistencia	11
1.4.1	Hornos eléctricos de resistencias	11
1.4.2	Aplicaciones de los hornos de resistencias	11
1.4.3	Clasificación de los hornos de resistencias	12
1.4.4	Factores para una correcta elección de un horno de resistencias eléctricas	12
1.4.4.1	Requerimiento y datos del usuario	12
1.4.4.2	Posibilidades tecnológicas del constructor	13
1.4.4.3	Posibilidades económicas.....	14
1.5	Partes constitutivas de un horno eléctrico	14
1.5.1	Generalidades	14
1.5.2	Estructura metálica	15
1.5.2.1	Miembros estructurales y conexiones	15
1.5.2.2	Uniones simples	16
1.5.2.2.1	Uniones remachadas.....	16
1.5.2.2.2	Uniones atornilladas	17
1.5.2.2.3	Uniones soldadas	17
1.5.3	Cámara de calefacción	19
1.5.3.1	Materiales de aislamiento térmico de la cámara.....	19
1.5.3.1.1	Propiedades de los materiales aislantes.....	21
1.5.3.2	Lanas minerales (fibra de vidrio).....	22
1.5.3.3	Pérdidas de calor	23
1.5.3.3.1	Pérdidas de calor por las paredes	24
1.5.3.4	Cubierta exterior	25
1.5.4	Circulación de aire forzado	25
1.5.4.1	Disposiciones de la circulación de aire forzado	25
1.5.4.2	Ventiladores	28
1.5.4.2.1	Tipos de ventiladores	28
1.5.5	Elementos de resistencia	30
1.5.5.1	Generalidades	30
1.5.5.2	Resistencias metálicas, materiales.....	31
1.5.5.2.1	Aleaciones de base níquel-cromo	31

1.5.5.2.2 Aleaciones Fe-Cr-Al (kanthal)	34
1.5.5.2.3 Otros materiales	36
1.5.5.3 Resistencias no metálicas	36
1.5.5.4 Tubos radiantes	37
1.5.5.5 Resistencias blindadas	37
1.5.5.6 Disposición de las resistencias	38
1.5.5.7 Terminales y conexiones	38
1.5.5.8 Cálculo de resistencias metálicas	41
1.5.6 Tipo de conexiones	46
1.5.7 Equipo de regulación y control	48
1.5.8 Regulación de la temperatura	49
1.5.8.1 Termopares	50
1.5.8.2 Aparato de regulación y medición	51
1.5.8.3 Órgano de regulación	51
1.5.8.3.1 Regulación por contactores	51
1.5.9 Elementos eléctricos	53
1.5.9.1 El pulsador	53
1.5.9.2 El contactor	53
1.5.9.2.1 Partes constitutivas del contactor	53
1.5.9.3 Elementos de protección	55
1.5.9.3.1 Relés térmicos	55
1.5.9.3.2 Relés de tiempo o temporizadores	55
1.5.9.3.3 Temporizador al trabajo o más conocidos como on-delay	56
1.5.9.3.4 Temporizador al reposo también conocido como off-delay	57
1.5.10 Esquemas eléctricos	57
1.5.10.1 Tipos de diagramas eléctricos	58
1.5.10.1.1 Diagrama unifilar	58
1.5.10.1.2 Diagrama esquemático	58
1.5.10.1.3 Diagrama de alambrado	59
1.5.10.1.4 Diagrama de interconexión	59
1.5.10.2 Circuito de fuerza	59
1.5.10.3 Diagrama de control	60
1.5.11 Símbolos eléctricos	61

CAPÍTULO 2

DISEÑO Y PARTES CONSTITUTIVAS DEL HORNO

2.1 Generalidades	62
2.2 Estructura metálica	62
2.2.1 Diseño general.....	62
2.2.1.1 Cálculo estructural	63
2.2.1.2 Diseño geométrico de la estructura	67
2.2.1.2.1 Dimensionamiento de la cámara interna.....	67
2.2.1.2.2 Dimensionamiento de la cámara intermedia.....	68
2.2.1.2.3 Dimensionamiento de la cámara externa.....	69
2.3 Cálculo de la circulación de aire forzado	70
2.3.1 Cálculo de los parámetros de aire forzado	71
2.4 Cálculo de la potencia.....	74
2.4.1 Potencia.....	74
2.4.1.1 Temperatura	74
2.4.1.2 Dimensiones interiores de la cámara.....	74
2.4.1.3 Propiedades del aislamiento térmico	75
2.4.1.4 Clases, dimensiones y peso de la carga	75
2.5 Cálculo de la cantidad de calor total suministrado por el sistema.....	76
2.5.1 Cálculo de las pérdidas de calor en las paredes debido a la conducción.....	77
2.5.1.1 Cálculo del espesor de las paredes	77
2.5.1.2 Cálculo de las pérdidas de calor por conducción.....	80
2.5.2 Cálculo de las pérdidas de calor por convección y radiación.....	81
2.5.2.1 Pérdidas de calor por convección libre o natural	81
2.5.3 Pérdidas de calor por radiación	86
2.6 Cálculo de la cantidad de calor aportado a la carga	87
2.6.1 Transmisión de calor a la carga.....	87
2.6.2 Cálculo del tiempo durante el cual la carga llega a la temperatura de 200°C.....	89

2.7 Calor total suministrado por el sistema.....	91
2.8 Rendimientos térmicos	92
2.8.1 Rendimiento térmico de conversión.....	92
2.8.2 Rendimiento térmico neto de operación	92
2.9 Cálculo de los elementos de resistencia.....	93
2.9.1 Factores que intervienen en el cálculo de la resistencia.....	93
2.9.1.1 Potencia del horno.....	93
2.9.1.2 Tensión disponible en la red	94
2.9.1.3 Temperatura de los elementos	94
2.9.1.4 Carga específica	94
2.9.1.5 Coeficiente de resistividad	94
2.9.1.6 Elementos de resistencia.....	95
2.9.1.7 Conexiones eléctricas.....	96
2.9.2 Cálculo numérico de los elementos de resistencia.....	98
2.9.2.1 Cálculo del diámetro de hilo.....	98
2.9.2.2 Método rápido para el cálculo del diámetro del hilo de resistencia...	99
2.9.2.3 Datos por elemento.....	100
2.9.2.4 Forma del elemento de resistencia.....	101
2.10 Cálculo de los elemntos utilizados para el control de temperatura	103
2.10.1 Diseño general.....	103
2.10.2 Órgano de medición y control XMTG.....	103
2.10.2.1 Dimensionamiento de la termocupla.....	103
2.10.3 Dimensionamiento del órgano regulador	106
2.10.3.1 Criterios para la elección de un contactor.....	106
2.10.4 Relé térmico.....	107
2.10.5 Elementos de mando y señalización.....	108
2.10.6 Selección del cable eléctrico.....	109

CAPÍTULO 3

CONSTRUCCIÓN

3.1 Características generales	110
3.2 Construcción de la estructura	111
3.2.1 Equipo y accesorios utilizados	117
3.3 Construcción de las cámaras.....	118
3.3.1 Cámara interna	118
3.3.2 Cámara intermedia	121
3.3.2.1 Conformación de las espiras	122
3.3.2.2 Estirado de las espiras.....	123
3.3.2.3 Conformación de las resistencias blindadas.....	124
3.3.2.4 Conformación de las ondulaciones	124
3.3.2.5 Terminales y conexiones	125
3.3.2.6 Pared aislante.....	127
3.3.3 Cámara exterior	127
3.3.4 Puerta del horno	129
3.3.5 Ventilación de aire forzado	130
3.3.6 Tipo de conexión	132
3.3.7 Instalación del control eléctrico	133
3.3.7.1 Instalación del circuito de fuerza	133
3.3.7.2 Instalación del circuito de control	134
3.3.8 Pruebas de aplicación con carga	136

CAPÍTULO 4

MANUAL DE FUNCIONAMIENTO Y MANTENIMIENTO

4.1 Introducción	138
------------------------	-----

4.2 Funcionamiento	138
4.3 Manual de operación y mantenimiento del equipo.....	140
4.3.1 Instrucciones.....	140
4.3.2 Contenido	140
4.3.2.1 Instalación e inspección.....	140
4.3.2.2 Componentes	141
4.3.2.3 Mantenimiento	143
4.3.2.4 Servicio	145
4.3.2.5 Planos eléctricos.....	146
4.3.2.6 Lista de los elementos eléctricos	146
4.3.3 Normas específicas de seguridad.....	147
4.3.3.1 Normas específicas para hornos	147
4.3.4 Medidas y disposiciones por parte del usuario	147

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones	149
5.2 Recomendaciones	150

GLOSARIO DE TÉRMINOS EMPLEADOS	152
---	------------

DATOS BIBLIOGRÁFICOS	160
-----------------------------------	------------

ANEXOS.....	162
--------------------	------------

ANEXO 1 Símbolos eléctricos	163
--	------------

ANEXO 2 Ángulos estructurales.....	168
ANEXO 3 Dimensiones y peso de motores.....	169
ANEXO 4 Ventiladores centrífugos.	173
ANEXO 5 Relación cm^2/Ω	175
ANEXO 6 Controlador de temperatura XMTG CJ	176
ANEXO 7 Capacidad de conductores eléctricos	179
ANEXO 8 Características del electrodo 6011	180
ANEXO 9 Planchas de tool Astm 36	181
PLANOS	183
PLANO 1 Horno eléctrico de resistencias	184
PLANO 2 Diagrama de control y fuerza	185
ANEXOS VARIOS	186

SIMBOLOGÍA

c .- Calor específico	cal/g°C
Q .- Calor absorbido o cedido.....	cal.
m .- Masa	kg.
ΔT .- Variación de temperatura	°C
C .- Capacidad calórica	cal/°C
q .- Flujo calorífico	kcal/h*m ²
x .- Espesor capa de aislamiento	metros
k .- Conductividad térmica	Kcal/hr*m*°C
T .- Temperatura	°C
R_{20} .- Resistencia a 20 °C	ohmios
l .- Longitud de la resistencia.....	metros
d .- Diámetro de la resistencia.....	metros
ρ .- Resistividad eléctrica	Ω *cm
Ct .- Coeficiente de resistividad.....	adimensional
Ac .- Superficie radiante de resistencia	m ²
P .- Potencia.....	kw.
p .- Carga específica	watts/cm ²
I .- Corriente	amperios
V .- Voltaje.....	voltios
N .- Número de espiras	adimensional
D .- Diámetro de la espira	mm.
s .- Paso de arrollamiento.....	mm.
Lw .- Longitud arrollada.....	mm.
L .- Longitud de espira extendida	mm.
V_L .- Voltaje de línea	voltios
V_F .- Voltaje de fase.....	voltios
I_L .- Corriente de línea.....	amperios
I_F .- Corriente de fase.....	amperios
P_T .- Potencia total.....	watios
P_F .- Potencia de fase.....	watios

$\cos \phi$	- Factor de potencia.....	adimensional
W	- Peso de al carga.....	kg.
R_A	- Reacción en el punto A.....	kg.
R_B	- Reacción en el punto B.....	kg.
M_f	- Sección máxima de sollicitación.....	kg*cm.
C_f	- Esfuerzo máximo cortante.....	kg.
t_e	- Deformación elástica.....	kg/mm ²
Δ_L	- Deformación.....	mm.
E	- Modulo de elasticidad.....	kg/mm ²
K	- Coeficiente de resistencia.....	adimensional
Q_S	- Calor suministrado por el sistema.....	Kcal.
Q_P	- Pérdidas de calor.....	Kcal.
Q_C	- Calor absorbido por la carga.....	Kcal.
Q_K	- Pérdidas por acumulación de calor en las paredes por conducción.....	Kcal.
Q_{cv}	- Pérdidas por convección desde la parte exterior del horno.....	Kcal.
Q_r	- Pérdidas por radiación desde la parte exterior del horno.....	Kcal.
N_u	- Número de nusselt.....	adimensional
G_r	- Número de grashof.....	adimensional
P_r	- Número de prandt.....	adimensional
h_c	- Coeficiente de película convectivo.....	Kcal/h * m ² * °C
β	- Coeficiente de dilatación del aire.....	1/288°K
L_c	- Longitud característica.....	metros
δ	- Dencidad.....	kg/m ³
g	- Gravedad.....	m/s ²
μ	- Viscosidad.....	kg/h * m
ε	- Emisividad.....	adimensional
σ	- Constante universal.....	4.965 * 10 ⁻⁸ cal/h * m ² °K
F_{p-c}	- Factor de forma.....	adimensional
N_{to}	- Rendimiento térmico de operación.....	kg/Kw – h

RESUMEN

Este trabajo es un estudio sobre la tecnología del diseño y construcción de hornos eléctricos industriales.

En este diseño se ha considerado las propiedades de los materiales para la elaboración de la estructura y las cámaras del horno; del aislamiento térmico de las paredes exteriores de la cámara de calefacción del horno; también los materiales que pueden ser utilizados como elementos de resistencia.

La potencia del horno se obtiene con el cálculo de la cantidad de calor absorbido por la carga en un determinado ciclo de funcionamiento; mas las pérdidas de calor por conducción en las paredes de la cámara, mas las pérdidas de calor por radiación y convección desde la cubierta exterior.

Obtenida la potencia, se calcula los elementos de resistencia, tomando en consideración todos los factores y parámetros que determinan un buen diseño.

Se desarrolla la tecnología de la construcción del horno, detallando el procedimiento seguido, se realiza las mediciones experimentales de funcionamiento, comparando con los datos calculados, para de esta forma obtener conclusiones y recomendaciones.

INTRODUCCIÓN

La crisis económica que atraviesa nuestro país en este momento, lleva a la reflexión sobre la necesidad de crear tecnología propia en todos los campos de la Tecnología.

Para enfrentar este problema, la Carrera de Tecnología Electromecánica ha creado el sistema de autoequipamiento, con lo cual se trata de contribuir a la creación y al desarrollo de tecnología propia, que necesita nuestro país.

Se está desarrollando la tecnología sobre la construcción de hornos industriales, dentro de los cuales los hornos eléctricos ocupan un lugar preferente debido a las varias aplicaciones que tienen estos aparatos, en la industria.

La tecnología del calentamiento por resistencias ha mejorado notablemente en los últimos años, compitiendo, en muchos casos ventajosamente, con el calentamiento por combustión de gas natural, por ejemplo, a pesar del bajo coste de este combustible en relación con la energía eléctrica.

Ante todo se pensó en incrementar los equipos en el taller eléctrico de la carrera, para que de esta manera los trabajos a efectuarse se cumplan con las características y condiciones adecuadas.

Con todos estos factores se siente la necesidad de crear y desarrollar la tecnología sobre el diseño y construcción de hornos eléctricos industriales.

Esperando que este trabajo, sirva como aporte para el desarrollo tecnológico del país.

CAPÍTULO I

FUNDAMENTO TEÓRICO

1.1 GENERALIDADES

Es de importancia que la serie de hornos tiene para los técnicos eléctricos, mecánicos, metalúrgicos y, en general para todos los profesionales relacionados con el diseño, construcción, funcionamiento y mantenimiento de los hornos que utilizan energía eléctrica como medio principal de funcionamiento.

El calentamiento por resistencias ha mejorado notablemente en los últimos años, compitiendo, en muchos casos con el calentamiento por combustión de gas natural.

El progreso realizado con estas áreas ha llevado al desarrollo de la termodinámica y transferencia de calor como una ciencia que están relacionadas entre sí. Mientras que la primera predice la transferencia de calor de un sistema, la segunda predice como esta transferencia se lleva a cabo.

1.2 TERMODINÁMICA

Relaciona las propiedades físicas de la materia en los sistemas macroscópicos, así como sus intercambios de energía.

El estado de un sistema macroscópico se puede describir mediante propiedades medibles como la temperatura, la presión, volumen, densidad, calor específico, compresibilidad, coeficiente de dilatación, etc. que se conocen como variables de estado.

Cuando un sistema macroscópico pasa de un estado de equilibrio a otro, se dice que tiene lugar un proceso termodinámico.

1.2.1 PRINCIPIO CERO DE TERMODINÁMICA

Cuando dos sistemas están en equilibrio mutuo, comparten una determinada propiedad. Esta propiedad se puede medir, y se le puede asignar un valor numérico definido. Una consecuencia de ese hecho es el principio cero de la termodinámica, que afirma que si dos sistemas distintos están en equilibrio termodinámico con un tercero, también tienen que estar en equilibrio entre sí. Esta propiedad compartida en el equilibrio es la temperatura.

1.2.1.1 Equilibrio Térmico

El concepto de equilibrio térmico es básicamente al momento de clasificar la temperatura. Se sabe que si dos cuerpos M1 y M2 que están a temperaturas diferentes entre si se ponen en contacto, fluirá calor desde el cuerpo más caliente al cuerpo mas frío. Después de un tiempo suficiente, ambos cuerpos estarán en equilibrio térmico entre sí. Es decir estarán a la misma temperatura.

1.2.1.2 Temperatura

Es el parámetro de estado térmico. Su valor depende de la energía cinética medida del movimiento de traslación de las moléculas de un cuerpo dado. De una manera cualitativa, se puede describir la temperatura de un cuerpo como aquella determinada por la sensación de tibio o frío al estar en contacto con dicho cuerpo.

1.2.1.2.1 Medición de la temperatura

Para realizar la medición de la temperatura se usa los termómetros, que son aparatos que poseen una sustancia muy sensible a la variación de temperatura.

Las sustancias más utilizadas para la elaboración de termómetros son: Mercurio, alcohol, pentano, tolueno y algunos metales. A continuación veremos la tabla 1.1 en la cual se muestran las sustancias más comunes que se utilizan en la fabricación de termómetros y sus límites de temperatura.

Material (sustancia)	Limites de temperatura
Mercurio	-35 hasta +280 °C
Mercurio (tubo capilar lleno de gas)	-35 hasta +450 °C
Pentano	-200 hasta +20 °C
Alcohol	-110 hasta +50 °C
Tolueno	-70 hasta +100 °C
Termistores de oxido níquel, cobalto y manganeso	-50 hasta +150 °C
Aleaciones de platino	Hasta los 900 °C

Tabla 1.1 Sustancia y rango de temperatura de algunos materiales

1.2.1.2.2 Termopares

Es posible efectuar mediciones de temperatura muy precisas empleando termopares, en los que se genera una pequeña tensión (del orden de milivoltios) al colocar a temperaturas distintas las uniones de un bucle formado por dos alambres de distintos metales.

A continuación tenemos en la tabla 1.2 los tipos de termocuplas más utilizados:

Tipo	Materiales		Rangos	
	Conductor +	Conductor -	Temp. °C	Tensión
B	Platino + 30% Rodio	Platino + 6% Rodio	600 a 1820	1,792 a 13,82 mV
C	Tungsteno + 5% Rhenio	Tungsteno + 26% Rhenio	0 a 2316	0 a 37,079 mV
E	Niquel-Cromo (Chromel)	Cobre-Niquel (Constantán)	-250 a 1000	-9,719 a 76,37 mV
J	Hierro	Cobre-Niquel (Constantán)	-210 a 1200	-8,096 a 69,555 mV
K	Niquel-Cromo (Chromel)	Niquel Aluminio	-200 a 1372	-5,891 a 54,886 mV
L	Hierro	Cobre-Niquel (Constantán)	-200 a 900	-8,166 a 53,147 mV
N	Niquel-Cromo-Silicio (Nicrosil)	Niquel-Silicio-Magnesio (Nisil)	-200 a 1300	-3,990 a 47,514 mV
R	Platino + 13% Rodio	Platino	-20 a 1767	-0,101 a 21,089 mV
S	Platino + 10% Rodio	Platino	-20 a 1767	-0,103 a 18,682 mV
T	Cobre	Cobre-Niquel (Constantán)	-250 a 400	-6,181 a 20,873 mV
U	Cobre	Cobre-Niquel	-200 a 600	-5,693 a 34,320 mV

Tabla 1.2 Tipos de Termocuplas

1.2.1.2.3 Escalas de Temperatura

La temperatura es el nivel de calor en un gas, líquido, o sólido. Tres escalas sirven comúnmente para medir la temperatura. Las escalas de Celsius y de Fahrenheit son las más comunes. La escala de Kelvin es primordialmente usada en experimentos científicos.

1.2.1.2.4 Conversión de temperaturas

A veces hay que convertir la temperatura de una escala a otra. A continuación encontrará cómo hacer esto.

- Para convertir de °C a °F: $^{\circ}\text{F} = ^{\circ}\text{C} \times 1.8 + 32$
- Para convertir de °F a °C: $^{\circ}\text{C} = (^{\circ}\text{F} - 32) \div 1.8$
- Para convertir de K a °C: $^{\circ}\text{C} = \text{K} - 273.15$

- Para convertir de °C a K: $K = °C + 273.15$
- Para convertir de °F a K: $K = 5/9 (°F - 32) + 273.15$
- Para convertir de K a °F: $°F = 1.8 (K - 273.15) + 32$

1.2.2 PRIMER PRINCIPIO DE TERMODINÁMICA

El primer principio de la termodinámica identifica al calor, como una forma de energía. Se puede convertir en trabajo mecánico y almacenarse, pero no es una sustancia material. La cantidad de energía transferida a un sistema en forma de calor más la cantidad de energía transferida en forma de trabajo sobre el sistema debe ser igual al aumento de la energía interna del sistema.

El calor y el trabajo son mecanismos por los que los sistemas intercambian energía entre sí.

1.2.2.1 Calor

Es la energía que se transmite debido a una diferencia de temperaturas entre un sistema y su entorno.

1.2.2.1.1 *Calor específico (c)*

El calor específico de una sustancia, es el calor necesario (medido en calorías) para subir en 1[°C] la temperatura de 1[g] de esa sustancia. Se mide en [cal/g °C].

La cantidad de calor que una sustancia absorbe o cede, sin sufrir cambio de estado, está dada por:

$$Q = m c \Delta t$$

Donde:

Q [cal] = calor absorbido o cedido por la sustancia

m [g] = masa de la sustancia.

c [cal/g°C] = calor específico de la sustancia

Δt [°C] = variación de temperatura de la sustancia.

1.2.2.1.2 Capacidad calórica (C)

La capacidad calórica de un cuerpo, es el calor necesario (medido en calorías) para subir en 1 [°C] la temperatura de ese cuerpo. Se mide en [cal / °C].

La cantidad de calor que un cuerpo absorbe o cede, está dada por:

$$Q = C \Delta t$$

Donde:

Q [cal] = calor absorbido o cedido por el cuerpo

C [cal/°C] = capacidad calórica del cuerpo

Δt [°C] = variación de temperatura del cuerpo

1.2.3 SEGUNDO PRINCIPIO DE TERMODINÁMICA

La primera ley nos dice que la energía se conserva. Sin embargo, podemos imaginar muchos procesos en que se conserve la energía, pero que realmente no ocurren en la naturaleza. Si se acerca un objeto caliente a uno frío, el calor pasa del caliente al frío y nunca al revés. Si pensamos que puede ser al revés, se seguiría conservando la energía y se cumpliría la primera ley.

1.2.4 TERCER PRINCIPIO DE TERMODINÁMICA

No se puede llegar al cero absoluto mediante una serie finita de procesos. Es el calor que entra desde el "mundo exterior" lo que impide que en los experimentos se alcancen temperaturas más bajas. El cero absoluto es la temperatura teórica más baja posible y se caracteriza por la total ausencia de calor. Es la temperatura a la cual cesa el movimiento de las partículas. El cero absoluto (0 K) corresponde aproximadamente a la temperatura de $-273,16^{\circ}\text{C}$. Nunca se ha alcanzado tal temperatura y la termodinámica asegura que es inalcanzable.

1.3 TRANSFERENCIA DE CALOR

Es el proceso por el que se intercambia energía en forma de calor entre distintos cuerpos, o entre diferentes partes de un mismo cuerpo que están a distinta temperatura.

El calor se transfiere mediante convección, radiación o conducción. Aunque estos tres procesos pueden tener lugar simultáneamente, puede ocurrir que uno de los mecanismos predomine sobre los otros dos.

1.3.1 TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN

El fenómeno de transferencia de calor por conducción es un proceso de propagación de energía en un medio sólido, líquido o gaseoso, mediante comunicación molecular directa o entre cuerpos a distintas temperaturas.

1.3.2 TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN

Es un proceso de transporte de energía que se lleva a cabo por consecuencia del movimiento de un fluido (líquido o gas), y está íntimamente relacionado con el movimiento de éste.

1.3.2.1 Transferencia de calor por convección forzada.

Se provoca el flujo de un fluido sobre una superficie sólida por medio de una fuerza externa como lo es una bomba, un ventilador u otro dispositivo mecánico.

1.3.2.2 Transferencia de calor por convección libre o natural.

Resulta como consecuencia de las fuerzas de empuje que se ejercen sobre este cuando disminuye su densidad, al encontrarse en la vecindad de la superficie de transferencia de calor y en presencia de un campo gravitacional.

1.3.3 TRANSFERENCIA DE CALOR POR RADIACIÓN

Tanto los mecanismos de transferencia de calor por conducción, como por convección requieren un medio para la propagación de energía. Sin embargo, el calor también puede propagarse aún en el vacío absoluto mediante radiación.

1.4 FUNDAMENTOS BÁSICOS DE HORNOS ELÉCTRICOS DE RESISTENCIAS

1.4.1 HORNOS ELÉCTRICOS DE RESISTENCIAS

Los hornos eléctricos por resistencias o más conocidos como hornos industriales, son equipos o dispositivos utilizados en la industria, en las que se calientan piezas o elementos colocados en su interior por encima de una temperatura ambiente.

Hay que señalar que esta definición, aparentemente clara, no es tanto en la práctica, ya que es frecuentemente utilizar otros términos tales como:

- Estufa, para hornos que operan a baja temperatura pero sin definir, normalmente hasta 500 – 600 °C. En realidad el término estufa se aplica a un determinado tipo de construcción con doble o triple cardería (la exterior, la intermedia para sujetar el aislamiento y la de canalización de aire).
- Secaderos (también denominados, cuando por elevación de temperatura, estufas de secado), la temperatura de secado puede ser elevada y adoptar una técnica de construcción similar a la de los hornos.
- Incineradores, equipos destinados a la combustión y eliminación de residuos.

1.4.2 APLICACIONES DE LOS HORNOS DE RESISTENCIAS

Se puede también plantear las aplicaciones de los hornos industriales en relación con el procedimiento o procesos utilizados. Desde este punto de vista se clasifican de la siguiente forma:

- Sinterizado y calcinación.
- Fusión de metales.
- Calentamiento de los materiales.

- Tratamientos térmicos de metales.
- Otros procesos para materiales no metálicos, por ejemplo, vulcanizado de gomas y tratamientos de plásticos.
- Recubrimiento de piezas metálicas y no metálicas.
- Secado, en general, reducción del contenido de humedad en ciertos elementos (bobinas, etc.).

1.4.3 CLASIFICACIÓN DE LOS HORNOS DE RESISTENCIAS

La clasificación adoptada es la siguiente:

- Hornos de fusión.
- Hornos de recalentamiento.
- Hornos de tratamientos térmicos.

1.4.4 FACTORES PARA UNA CORRECTA ELECCIÓN DE UN HORNO DE RESISTENCIAS ELÉCTRICAS

Para una elección correcta de un horno se debe tener en cuenta los tres criterios principales siguientes:

- Requerimiento y datos del usuario.
- Posibilidades tecnológicas del constructor.
- Posibilidades económicas.

1.4.4.1 Requerimiento y datos del usuario

Exigencias técnicas: Resolver un problema concreto de fabricación dentro de un contexto industrial.

- Carga a tratar:
 - Naturaleza y forma de la carga.
 - Naturaleza del material.
 - Temperatura inicial.

- Tratamiento:
 - Ciclo temperatura-tiempo.
 - Temperatura normal de utilización, máxima y mínima.
 - Precisión de temperatura requerida.
 - Presencia o no de atmósfera controlada.

- Producción:
 - Producción horaria o por ciclo/carga.
 - Utilización del equipo (horas, días, semanas, etc.).

1.4.4.2 Posibilidades tecnológicas del constructor

- Comprobar que el ciclo de temperatura requerido es realizable en condiciones industriales razonables.

- Determinar el horno alrededor de:
 - La carga cuando se trata de cargas unitarias grandes.

 - La producción, que es el caso más frecuente, cuando se trata de un gran número de piezas unitarias.

1.4.4.3 Posibilidades económicas

Se refiere a la unidad productiva (horno), es la suma de los siguientes factores principales:

- Costo de energía.
- Costo de mano de obra directa.
- Costo de la mano de obra de control y supervisión.
- Costo de materiales consumibles.
- Amortización de la instalación.
- Costo de mantenimiento.

1.5 PARTES CONSTITUTIVAS DE UN HORNO ELÉCTRICO

1.5.1 GENERALIDADES

Después de analizar las diferentes aplicaciones que se les puede dar a los hornos eléctricos por resistencias dentro de la industria, ya sea en relación con el procedimiento o proceso a utilizar, los cuales pueden ser: sinterizado y calcinación, fusión de metales, tratamientos térmicos, recubrimiento de piezas metálicas, secado o reducción de humedad, procesos químicos , y otros procedimientos. Se concluye que los tipos de hornos eléctricos muestran grandes y numerosas ventajas técnicas y económicas en su utilización, tanto por su versatilidad, costos, tamaño, resistencia y durabilidad.

Un horno eléctrico de resistencias está constituido de las siguientes partes principales:

- Estructura metálica
- Cámara de calefacción
- Circulación de aire forzado

- Elementos de resistencia (resistencias de calentamiento).
- Control de temperatura y potencia.

1.5.2 ESTRUCTURA METÁLICA

Se la define como la distribución de las partes mecánicas unidas entre sí y elaboradas para soportar con seguridad las cargas aplicadas a la misma.

1.5.2.1 Miembros estructurales y conexiones

Una estructura reticular convencional está compuesta de miembros unidos entre sí por medio de conexiones. Un miembro puede ser un perfil laminado estándar o bien estar formado por varios perfiles unidos.

En la figura 1.1 se muestra varias secciones típicas de acero.

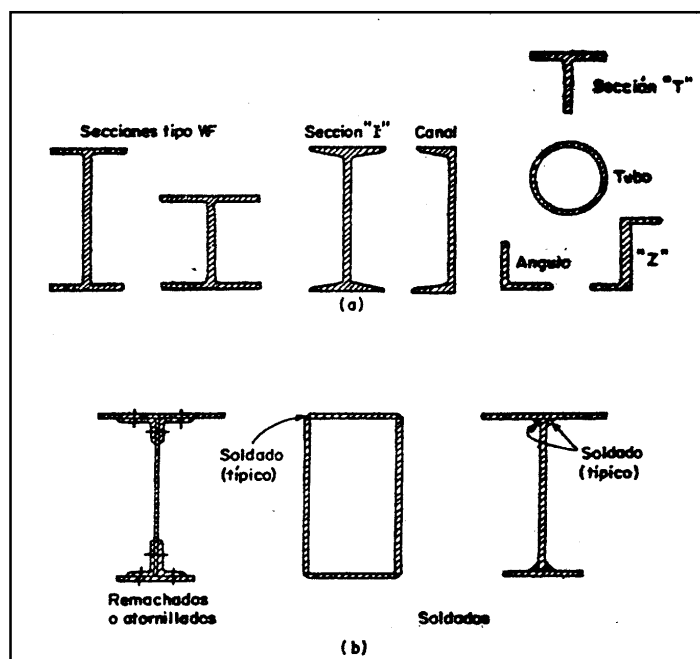


Figura 1.1 Secciones típicas de acero (a) Perfiles laminados, (b) miembros armados.

1.5.2.2 Uniones simples

Para unir dos o más elementos metálicos, se puede emplear uno o varios de los siguientes sistemas: remaches, tornillos, pasadores y soldadura.

1.5.2.2.1 Uniones remachadas

Los remaches son elementos de sección transversal circular manufacturados con acero dúctil. Tienen una cabeza en cada extremo. Es esencialmente un proceso de forja. Se puede instalar en caliente o en frío; en el segundo caso se requiere la aplicación de grandes presiones para formar la cabeza. Este proceso de hinchado en frío se emplea generalmente para remaches de diámetros pequeños. El proceso se ve limitado por el equipo necesario y la inconveniencia de usarlo en el campo. En la figura 1.2 se puede apreciar esquemáticamente el proceso.

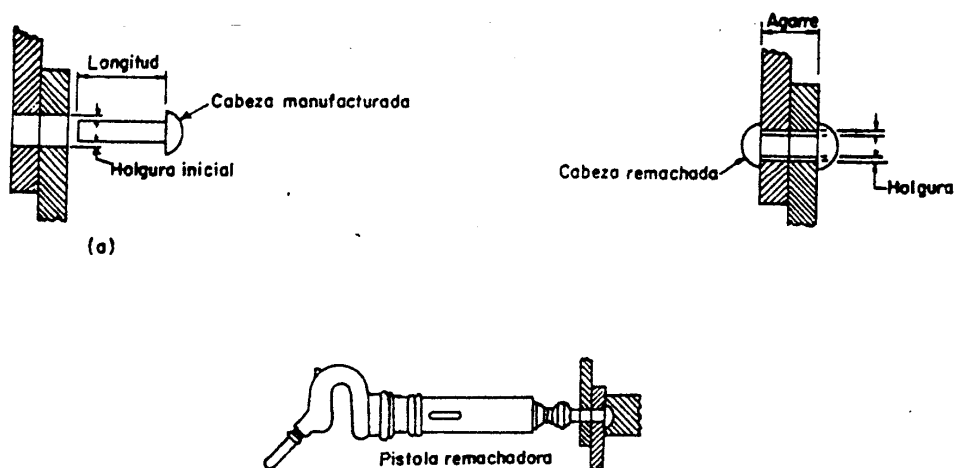


Figura 1.2 Remachado

1.5.2.2 Uniones atornilladas

Un tornillo es un pasador de metal con una cabeza formada y un vástago roscado para recibir la tuerca. Los tornillos estructurales pueden clasificarse de acuerdo con las siguientes características que se indican en la figura 1.3.

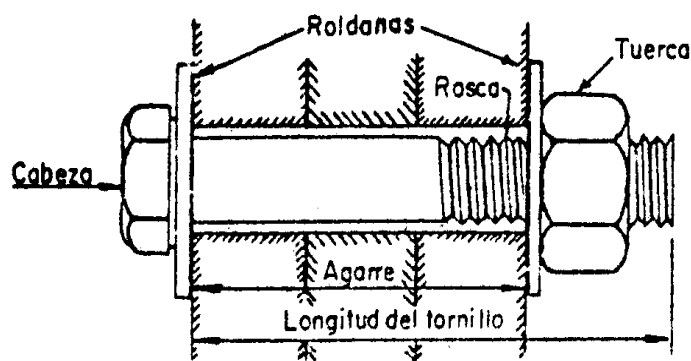


Figura 1.3 Unión con tornillo

1.5.2.2.3 Uniones soldadas

La soldadura es el proceso de conectar piezas de metal entre sí por medio de la aplicación de calor, ya sea con o sin presión. Esta definición se aplica a una gran variedad de procesos, que varían desde soldaduras simples por calentamiento y fusión de metales blandos, hasta las soldaduras bajo el agua.

El sistema de soldadura de arco manual se define como el proceso en que se unen dos metales mediante fusión localizada, producida por un arco eléctrico entre el electrodo metálico y el metal base que se desea unir. Todo este proceso se puede observar en la figura 1.4.

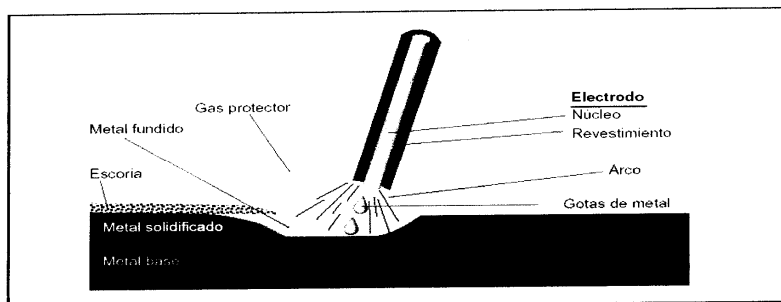


Figura 1.4 Proceso del sistema de soldadura de arco manual

El electrodo consiste en un núcleo o varilla metálica, rodeado por una capa de revestimiento, donde el núcleo es transferido hacia el metal base a través de una zona eléctrica generada por una corriente de soldadura.

El revestimiento del electrodo que determina las características mecánicas y químicas de la unión, está constituido por un conjunto de componentes minerales y orgánicos que cumplen las siguientes funciones:

- Producir gases protectores para evitar la contaminación atmosférica y gases ionizantes para dirigir y mantener el arco.
- Producir escoria para proteger el metal ya depositado hasta su solidificación.
- Suministrar materiales desoxidantes, elementos de aleación de hierro en polvo.

Una ventaja de las uniones soldadas sobre las atornilladas es que no existen perforaciones, no hay una sección crítica de falla.

En la figura 1.5 se pueden apreciar los diferentes tipos de uniones soldadas.

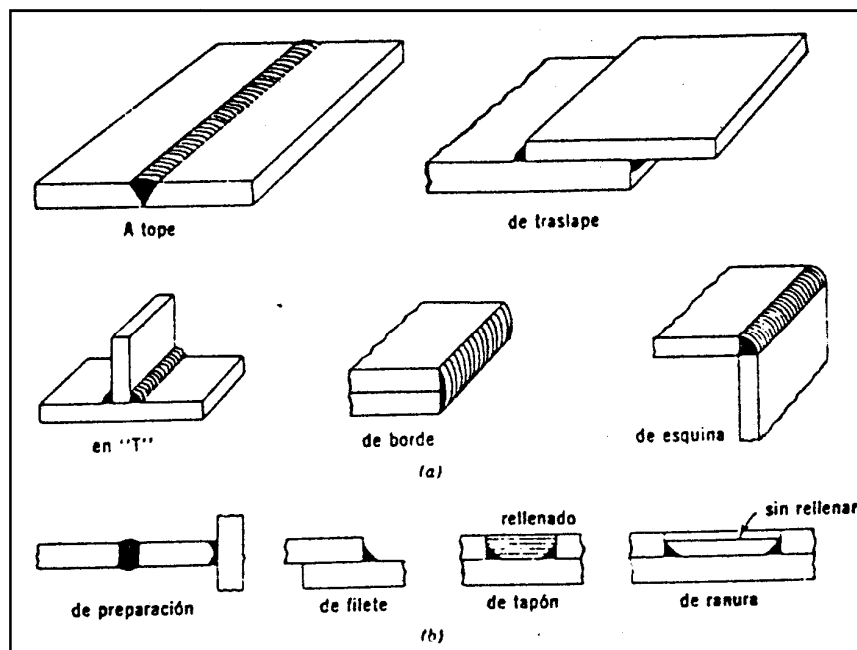


Figura 1.5 Conexiones soldadas: (a) tipos de juntas, (b) tipos de soldaduras

1.5.3 CAMÁRA DE CALEFACCIÓN

La cámara de calentamiento es un recinto cerrado, con una construcción típica de tres calderías: la exterior donde sostiene el material refractario, la intermedia donde se ubica los elementos de resistencia, y la interior que sirve de guía para una correcta circulación de aire.

1.5.3.1 Materiales de aislamiento térmico de la cámara

El campo de los aislantes térmicos en hornos industriales es amplio. Aparentemente, su único objeto es aislar el interior de los hornos, pero a su vez este cumple un doble propósito:

- Reducir las pérdidas de calor

- Conseguir unas condiciones ambientales en el exterior suficientemente aceptable.

Pero, realmente, la condición en el interior puede ser tal que cada capa interna del aislante térmico deba ser capaz de:

- Soportar el ambiente del horno (humos, aire en circulación, gases, etc.).
- Conseguir sin reacción química, en términos generales, metales o no metales, fundidos, a alta temperatura, etc.

El aislamiento térmico, además de sus características de aislamiento, debe requerir resistencia al ataque químico, resistencia a la abrasión, etc.

Aunque la clasificación indicada a continuación, en función de la temperatura máxima de utilización, sea muy poco científica, entendemos que es suficientemente práctica:

- Productos refractarios densos:
 - arcillas refractarias
 - silicatos (de aluminio y otros)
 - óxidos tales como sílice, magnesia, cromita, etc.
- Productos aislantes no refractarios (hasta 1000 °C):
 - la sílice fósil o diatomita (y los materiales derivados)
 - el carbonato de magnesio (y sus derivados)
 - las fibras minerales (lana de vidrio, de escoria, de roca)
 - el silicato cálcico

La máxima temperatura que puede soportar la cara interior del revestimiento aislante de la cámara de calefacción, determina la naturaleza del material a emplear como aislamiento.

1.5.3.1.1 Propiedades de los materiales aislantes

- Una de las propiedades más importantes de los aislantes, naturalmente, es la baja conductividad térmica.
- Otra propiedad térmica importante es la capacidad de retención de calor.

A continuación la tabla 1.3 muestra los tipos más generales de aislamiento de soportes, estos son los que en la industria se han estandarizado.

Tipo	Peso / Pie cuadrado	Limite de utilización °F
Tierras de infusorios, (diatomita) con asbestos y caliza.	23	1800° - 1900°F
Fibras: Bloques de lana de escoria	15 – 20	1500 – 1700°F
Cubiertas de lana de vidrio	3	800 – 1000°F
Bloques de lana de sílice-alúmina	12 - 20	2000 – 2300°F
Lana de sílice-alúmina ligera (cardada)	3 – 10	2000 – 2300°F
VERMICULITA:		
Bloques	19	1500 – 1600°F
Fibras sueltas	10	1500 – 1600°F
Caolín – Yeso	30	1600°F
Vidrio espumado	10	1000°F

Tabla 1.3 Clasificación de los aislamiento de soporte

1.5.3.2 Lanas minerales (fibra de vidrio)

A partir del vidrio fundido, de rocas naturales fundidas y escorias metalúrgicas (con aditivos necesarios para rectificar su composición) se fabrican las fibras o lanas correspondientes. Las fibras así obtenidas, pueden tener, además de un alto contenido de sílice, una buena resistencia a la corrosión química y soportar temperaturas relativamente elevadas (700 °C).

Las lanas minerales, cuyas cualidades han mejorado enormemente en los últimos años, constituyen hoy uno de los mejores productos de aislamiento: elástico, químicamente neutro y para temperaturas relativamente elevadas. Además de sus propiedades térmicas, tienen la ventaja de su incombustibilidad y su capacidad de aislamiento sónico.

Algunas de las características más importantes de las lanas minerales se han recogido en la siguiente tabla 1.4.

Tipo de producto	Borra	Manta				
Densidad Kg./m ³	150	40	55	100	150	200
Temperatura máxima : °C	700	200	300	500	700	1.100
Conductividad térmica:						
Temperatura media:						
100 °C W/mK	0.047	0.047	0.064	0.047	0.052	-
300 °C W/mK	0.087	-	0.140	0.081	0.076	0.081
500 °C W/mK	0.163	-	-	0.151	0.105	0.116

Tabla 1.4 Lanas minerales

En la tabla 1.5 se encuentra detallado de manera clara las conductividades térmicas de algunos materiales aislantes.

Tipo de aislamiento	Peso por pie cúbico.	Temperatura (°F)		
		200 °F	500 °F	1 000 °F
Capa aislante de lana mineral	8 – 12	0.4	0.6	
Capa aislante de lana de vidrio	3	0.3	0.5	
Capa aislante de lana caolín	6	0.3	0.4	0.9
Cemento aislante a base de diatomita	40	0.7	0.8	0.9
Cemento aislante de magnesio al 85 %	15	0.5	0.6	
Bloques aislantes de diatomita	23	0.6	0.7	0.8
Aislamiento por bloques de vermiculita	18	0.6	0.7	0.9

Tabla 1.5 Conductividad térmica de los aislantes (BTU/h-pie-°F)

1.5.3.3 Pérdidas de calor

En relación directa con el recinto del horno y los materiales refractarios, aislantes utilizados, están las pérdidas de calor que se clasifican en:

- Pérdidas de calor a través de las paredes.
- Pérdidas por calor almacenado en el revestimiento.
- Pérdidas por puentes térmicos.
- Pérdidas por aberturas, ranuras (puertas, eje de ventilador, juntas).
- Pérdidas por infiltración de aire.

1.5.3.3.1 Pérdidas de calor por las paredes

Los aislamientos utilizados en hornos industriales pueden adoptar la forma de pared plana en el cuerpo del horno.

Las pérdidas de calor (P_p) a través de las paredes planas, depende fundamentalmente de las características del aislamiento de los materiales empleados, mientras que la transmisión de calor se realiza por conducción, a través de la pared, y por convección y radiación del exterior del horno al ambiente. Para una pared compuesta de tres capas (Figura 1.6) se aplica, en régimen permanente la siguiente expresión:

$$q = \frac{T_1 - T_4}{\frac{x_1}{k_1} + \frac{x_2}{k_2} + \frac{x_3}{k_3}} \quad \text{Flujo calorífico}$$

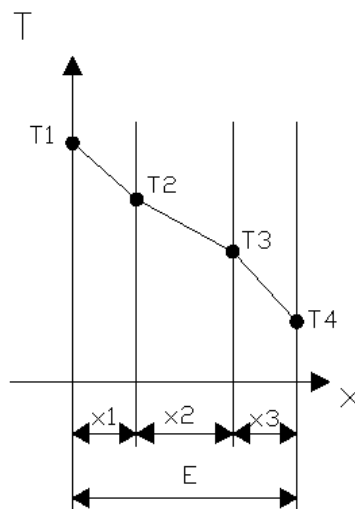


Figura 1.6 Pared compuesta de tres capas

Donde:

T1 = temperatura en el interior del horno.

T4 = temperatura ambiente exterior.

k1, k2, k3 = conductividades térmicas de los materiales respectivamente.

x1, x2, x3 = espesores de las capas de aislamiento.

1.5.3.4 Cubierta exterior

La cubierta exterior del horno puede estar conformada por planchas de acero inoxidable o acero al carbono según su utilización.

1.5.4 CIRCULACIÓN DE AIRE FORZADO

El aire o la atmósfera protectora se hace circular en el interior del horno mediante grupos motor-ventilador adecuados, a la velocidad previamente determinada a través de la carga, realizándose el calentamiento del aire a su paso por las resistencias, normalmente separadas de la cámara útil del horno mediante la interposición de deflectores.

1.5.4.1 Disposiciones de la circulación de aire forzado

Es muy importante que el reparto del caudal del aire sea uniforme dentro de la cámara, lo que obliga al constructor, a instalar los elementos adecuados en el horno, y por parte del usuario, a cargar el horno adecuadamente, sin zonas muertas que den lugar a cortocircuitos de aire, ni excesiva densidad de la carga que impida el paso del aire por falta de presión adecuada en el ventilador.

En las siguientes figuras se muestran disposiciones típicas en hornos de circulación forzada:

- a) Circulación vertical, ventilador centrifugo, típicos en hornos de pozo con las piezas colgadas (se requiere deflector metálico), o en cestas que deben impedir el cortocircuito superior mediante el apoyo sobre la cesta superior de la pantalla situada debajo del ventilador. (ver figura 1.7).

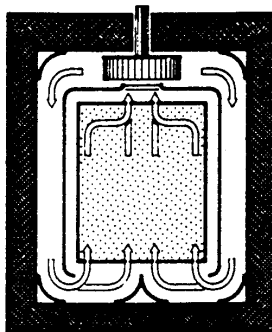


Figura 1.7 Horno de convección, circulación vertical, ventilador centrifugo

- b) Esta disposición del ventilador es muy adecuada para el calentamiento de placas y chapas gruesas de aleación de aluminio. Es fundamental un reparto uniforme entre las diferentes capas de la carga, lo que se consigue ajustando los deflectores desde el exterior y colocando soportes de carga idénticos entre placas. (ver figura 1.8)

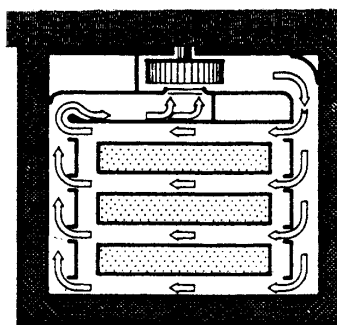


Figura 1.8 Horno de convección, circulación horizontal, ventilador centrifugo.

- c) Típica disposición para el calentamiento de redondos de aluminio para extrusión. Algunos constructores emplean con ventaja ventiladores axiales situados en la cámara superior del horno los cuales permiten la circulación del aire en los dos sentidos, con la consiguiente reducción del tiempo de calentamiento. (ver figura 1.9).

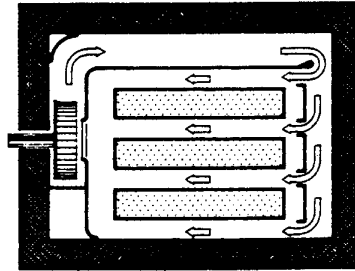


Figura 1.9 Horno de convección, circulación horizontal, ventilador centrífugo

- d) En este caso la circulación del aire es horizontal hacia el interior de la cámara útil, y vertical a través de las piezas dispuestas en bandejas o contenedores. Es difícil evitar con cargas densas que las partes extremas de la bandejas tengan una circulación sensiblemente inferior a las centrales, lo que exige una carga cuidadosa de los contenedores. Casi en la mayor parte de casos se requiere de deflectores metálicos. (ver figura 1.10).

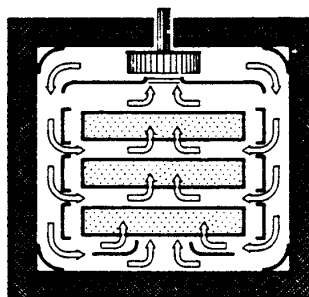


Figura 1.10 Horno de convección, circulación horizontal-vertical, ventilador centrífugo

- e) Disposición característica de hornos de tratamiento de perfiles extruidos de aleación ligera. La turbina puede ser helicoidal, por la débil pérdida de carga del circuito de aire, y la circulación debe hacerse en los dos sentidos, aunque los caudales no serán idénticos. El horno puede disponerse verticalmente, colocando la carga colgada, u horizontalmente, en cuyo caso ésta debe hacerse cuidadosamente para llenar la cámara del horno. (ver figura 1.11).

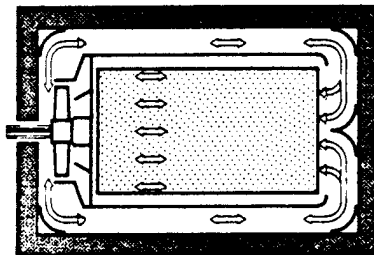


Figura 1.11 Horno de convección, ventilador axial, piezas alargadas

1.5.4.2 Ventiladores

Es un equipo que crea una diferencia de presión para mover aire a través de un sistema. Mientras más grande es la diferencia de la presión creada por el ventilador, más grande será el volumen de aire movido a través del sistema.

Los principales elementos que lo componen son: ducto de entrada de aire, impelente, voluta, ducto de descarga, eje del ventilador, elementos de sujeción y transmisión de energía mecánica.

1.5.4.2.1 Tipos de ventiladores

Los ventiladores se dividen en dos grupos:

➤ Ventiladores axiales

Son aquellos en los cuales el flujo de aire sigue la dirección del eje del mismo. Se suelen llamar helicoidales, pues el flujo a la salida tiene una trayectoria con esa forma. En líneas generales son aptos para mover grandes caudales a bajas presiones. Con velocidades periféricas medianamente altas son en general ruidosos, como se muestra en la figura 1.12.

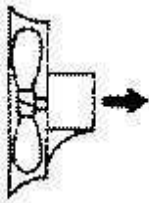
VENTILADORES	DESCRIPCIÓN	APLICACIÓN
 <p data-bbox="363 1131 528 1160">HELICOIDAL</p>	<p data-bbox="609 875 987 1176">Ventiladores aptos para mover grandes caudales de aire con bajas presiones. Son de bajo rendimiento. La transferencia de energía se produce mayoritariamente en forma de presión dinámica.</p>	<p data-bbox="1010 875 1327 1176">Se aplica en circulación y extracción de aire en naves industriales. Se instalan en pared sin ningún conducto. Utilizados con objetivo de renovación de aire.</p>

Figura 1.12 Ventilador axial helicoidal

➤ Ventiladores Centrífugos:

Son aquellos en los cuales el flujo de aire cambia su dirección, en un ángulo de 90°, entre la entrada y salida, como se muestra en la figura 1.13

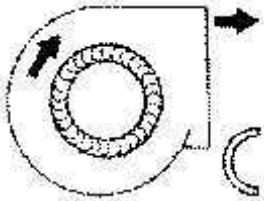
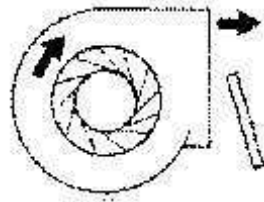
VENTILADORES	DESCRIPCIÓN	APLICACIÓN
 <p data-bbox="347 562 590 640">CURVADAS HACIA ADELANTE</p>	<p data-bbox="639 293 984 685">Rotor con palas curvadas hacia adelante, apto para caudales altos y bajas presiones. No es autolimitante de potencia. Para un mismo caudal y un mismo diámetro de rotor gira a menos vueltas con menor nivel sonoro.</p>	<p data-bbox="1007 293 1313 506">Se utiliza en instalaciones de ventilación, calefacción y aire acondicionado de baja presión.</p>
 <p data-bbox="376 952 561 1030">INCLINADAS HACIA ATRAS</p>	<p data-bbox="639 725 984 983">Rotor de palas planas o curvadas inclinadas hacia atrás. Es de alto rendimiento y autolimitador de potencia. Puede girar a velocidades altas.</p>	<p data-bbox="1007 725 1313 1120">Se emplea para ventilación, calefacción y aire acondicionado. También puede ser usado en aplicaciones industriales, con ambientes corrosivos y/o bajos contenidos de polvo.</p>

Figura 1.13 Ventiladores centrífugos

1.5.5 ELEMENTOS DE RESISTENCIA

1.5.5.1 Generalidades

El calentamiento de piezas por resistencias eléctricas puede ser directo cuando la corriente pasa por la pieza, o indirecto, cuando las piezas se calientan por radiación, convección o una combinación de ambas, procedente de las resistencias propiamente dicha dispuestas en las proximidades de las piezas.

En resumen, se puede deducir la siguiente clasificación de las resistencias de calentamiento indirecto en:

- Metálicas,
- No metálicas,
- Tubos radiantes y
- Resistencias blindadas.

1.5.5.2 Resistencias metálicas, Materiales

Los materiales empleados para la fabricación de resistencias metálicas se pueden clasificar en tres grupos:

- Aleaciones de base Ni-Cr.
- Aleaciones Fe-Cr-Al (kanthal)
- Otros materiales empleados, como molibdeno, tántalo y tungsteno.

1.5.5.2.1 Aleaciones de base Níquel-cromo

Aunque varían ligeramente de unos fabricantes a otros, podemos considerar como más representativas las siguientes:

- 80 Ni-20 Cr.
- 70 Ni-30Cr.
- 60 Ni-15 Cr-20 Fe.
- 37 Ni-18 Cr-40 Fe denominada 40 Ni-20 Cr.
- 30 Ni-20 Cr-45 Fe.
- 20 Ni-25 Cr-50 Fe.

De todas ellas la más utilizada en resistencias de hornos eléctricos es la primera, 80 Ni-20 Cr. En la tabla 1.6 se recogen sus características principales.

Aleación Ni-Cr	80-20	70-30	60-15	40-20	30-20	20-25
Composición aproximada:						
Ni %	80	70	60	37	30	20
Cr %	20	30	15	18	20	25
Fe %	<1	<1	20	40	45	50
Densidad kg/m ³	8.300	8.100	8.200	7.900	7.900	7.800
Temperatura de fusión °C	1.400	1.380	1.390	1.390	1.390	1.380
Temperatura máxima de utilización °C	1.200	1.250	1.150	1.100	1.100	1.050
Calor específico a 20 °C kJ/kg·K	0,45	0,45	0,45	0,46	0,50	0,50
Conductividad térmica W/mk a 20 °C	15	14	13	13	13	13
Coefficiente dilatación lineal 20-1.000 °C/°C ⁻¹	18	18	17	19	19	19
Resistencia a la rotura 20 °C N/mm ²	700	800	700	700	700	700
900 °C N/mm ²	100	100	100	120	120	120
Resistencia al creep 800 °C N/mm ²	15	15	15	20	20	20
1.000 °C N/mm ²	4	4	4	4	4	4

Tabla 1.6 Propiedades de las aleaciones Ni-Cr

- La conductividad térmica a 20 °C es prácticamente igual en todas las aleaciones Ni-Cr-Fe, pero netamente inferior en el acero dulce (51 W/mK a 20 °C), por lo que se comportan como mucho más aislantes. Sin embargo al aumentar la temperatura, disminuye la conductividad térmica de los aceros al carbono y aumenta la de las aleaciones Ni-Cr-Fe. Como orientación tenemos la tabla 1.7 donde nos señala los siguientes valores:

Temperatura	0°C	100°C	200°C	400°C	600°C	800°C	1 000°C
Acero 0.20%C	51.9	-	48.5	42.7	35.6	25.9	27.7
80 Ni-20 Cr	12.2	13.8	15.6	18.9	22.6	-	-
60 Ni-15 Cr	11.6	11.9	12.2	12.7	13.1	-	-
20 Ni-25 Cr	-	13.8	14.2	16.5	-	-	-

Tabla 1.7 Conductividades de algunos elementos

En la tabla 1.8 muestra la resistividad eléctrica de las aleaciones Ni-Cr.

Aleación Ni-Cr	80-20	70-30	60-15	40-20	30-20	20-25
Resistividad eléctrica $\mu\Omega\text{cm}$						
20 °C	112	119	113	105	104	95
100 °C	113	120	114	108	107	99
200 °C	113	122	116	111	111	103
300 °C	114	123	118	114	114	107
400 °C	115	124	120	117	117	111
500 °C	116	125	122	120	120	115
600 °C	115	124	121	122	122	118
700 °C	114	124	121	124	124	120
800 °C	114	124	122	126	126	122
900 °C	114	124	123	128	128	124
1.000 °C	115	124	124	130	130	126
1.100 °C	116	125	125	132	132	126
1.200 °C	117	126	—	—	—	—
Coefficiente de resistividad						
20 °C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
100 °C	1,009	1,009	1,009	1,028	1,029	1,042
200 °C	1,009	1,025	1,027	1,057	1,067	1,084
300 °C	1,018	1,034	1,044	1,086	1,096	1,126
400 °C	1,027	1,042	1,062	1,114	1,125	1,168
500 °C	1,036	1,050	1,080	1,143	1,154	1,210
600 °C	1,027	1,042	1,071	1,162	1,173	1,242
700 °C	1,018	1,042	1,071	1,181	1,192	1,263
800 °C	1,018	1,042	1,080	1,200	1,211	1,284
900 °C	1,018	1,042	1,089	1,219	1,231	1,305
1.000 °C	1,027	1,042	1,097	1,238	1,250	1,326
1.100 °C	1,036	1,050	1,115	1,257	1,269	—
1.200 °C	1,045	1,050	—	—	—	—

Tabla 1.8 Resistividad eléctrica de las aleaciones Ni-Cr

- La característica más importante de una aleación para resistencias es, evidentemente, la resistividad eléctrica que varía sensiblemente con la temperatura.

1.5.5.2.2 Aleaciones Fe-Cr-Al (KANTHAL)

La variación entre los diversos fabricantes es mayor que en la aleaciones Ni-Cr. Las más representativas son:

- 22/25 Cr-6 Al -70 Fe
- 20/22 Cr-5 Al -72 Fe
- 20/22 Cr-4.5 Al -73 Fe
- 14 Cr-4 Al -80 Fe

Las aleaciones kanthal cuentan con elementos químicos que producen la envolvente protectora de la resistencia, en este caso el aluminio (Al), formando una densa capa en atmósferas oxidantes. Las resistencias que contienen más de un 20% de aluminio forman una densa capa en atmósferas oxidantes, pero pierden dicha protección en atmósferas que contienen hidrogeno. Estas aleaciones contienen un 22% de Cr y de un 60 – 70 % de Fe, son quebradizas a la temperatura ambiente y debe dárseles su forma mientras están calientes.

En la tabla 1.9 se indican las cargas de superficies máximas admisibles en watts por cm² de superficie del conductor para elementos KANTHAL empleados en hornos industriales.

ALEACIÓN	EJECUCIÓN	TEMPERATURA DEL HORNO °C							
		600	700	800	900	1000	1100	1250	1300
Kanthal A-1	Cinta	-	-	-	-	4.0	3.0	2.0	1.5
Kanthal A	Hilo	-	-	-	2.9	2.3	1.6	1.2	-
Kanthal DSD	Cinta e Hilo	3.9	3.5	3.0	2.4	1.5	-	-	-

Tabla 1.9 Cargas se superficie máximas admisibles (W/cm²) para elementos KANTHAL

En la tabla 1.10 se indican sus características principales que comentamos en relación con las de Ni-Cr.

Aleación	22-6 PM	22- 6	22- 5	22- 4	14- 4
Composición química aproximada					
Cr %	22	22	22	22	14
Al %	5,8	5,8	5,3	4,8	4
Fe %	70	70	72	73	80
densidad Kg/m ³	7100	7100	7150	7250	7300
temperatura de fusión °C	1500	1500	1500	1500	1500
temperatura máxima se utilización °C	1400	1400	1400	1300	1100
calor específico a 20 °C Kj/Kg.K	0,46	0,46	0,46	0,46	0,48
calor específico medio a 0-1000 °C KJ/Kg*K	0,54	0,54	0,54	0,54	0,56
conductividad térmica a 20 °C W/mK	13	13	13	13	15
coeficiente dilatación lineal 20-1000 °C 10 ⁶ C ⁻¹	15	15	15	15	15
resistencia a la rotura 20°C N /mm ²	750	800	800	800	700
900 °C N/mm ²	40	34	37	34	35
resistencia de creep 800 °C N/mm ²	14	6	8	6	4
1000 °C N/mm ²	1,8	1	1,5	1	0,8

Tabla 1.10 Propiedades de las aleaciones Fe-Cr-Al (kanthal)

La tabla 1.11 muestra la resistividad eléctricas de las aleaciones Fe-Cr-Al. Es notablemente más elevada que las aleaciones Ni-Cr, lo que resulta favorable en el cálculo de las resistencias en hornos eléctricos.

Aleación	22-6 PM	22- 6	22- 5	22- 4	14- 4
resistividad eléctrica $\mu\Omega\text{cm}$					
coeficiente de resistividad:					
20 °C	145	145	139	135	125
20°C	1	1	1	1	1
100°C	1	1	1	1	1,01
200°C	1	1	1,01	1,01	1,02
300°C	1	1	1,01	1,01	1,03
400°C	1	1	1,02	1,02	1,04
500°C	1,01	1,01	1,03	1,03	1,05
600°C	1,02	1,02	1,04	1,04	1,07
700°C	1,02	1,02	1,04	1,05	1,09
800°C	1,03	1,03	1,05	1,06	1,11
900°C	1,03	1,03	1,05	1,06	1,132
1000°C	1,04	1,04	1,06	1,07	1,14
1100°C	1,04	1,04	1,06	1,07	1,15
1200°C	1,04	1,04	1,06	1,08	-
1300°C	1,04	1,04	1,06	1,08	-
1400°C	1,05	1,05	1,07	-	-

Tabla 1.11 Resistividad eléctrica de las aleaciones Fe-Cr-Al

1.5.5.2.3 Otros materiales

Se utilizan en hornos especiales de alta temperatura resistencias metálicas de molibdeno Tántalo y tungsteno.

1.5.5.3 Resistencias no metálicas

Los materiales no metálicos utilizados en la fabricación de resistencias son:

- Carburo de silicio en diversas formas.
- Bisiliciuro de molibdeno en forma de horquillas.
- Grafito en barras.
- Cromita de lantano en tubos.

1.5.5.4 Tubos radiantes

En la figura 1.14 se muestra una disposición de tubos radiantes metálicos en bóveda con la resistencia de alambre arrollada en espiral sobre tubos cerámicos rasurados. Para mayores potencias se disponen alambres más gruesos (6-8 mm.) o pletinas dispuestas en forma de jaula, como se muestra en la figura 1.15.

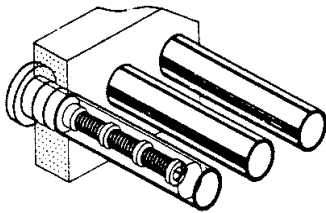


Figura 1.14 Tubos radiantes en bóveda. Resistencia de alambre grueso

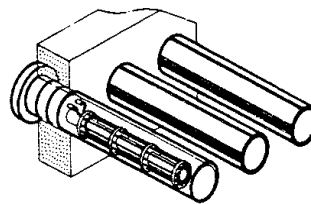


Figura 1.15 Tubos radiantes en bóveda. Resistencia de varilla o pletina a lo largo de la funda

1.5.5.5 Resistencias blindadas

Son esencialmente diferentes, en su concepción y en su comportamiento, de las resistencias metálicas y no metálicas anteriores e, incluso, de los tubos radiantes. Una resistencia blindada se muestra esquemáticamente en la figura 1.16

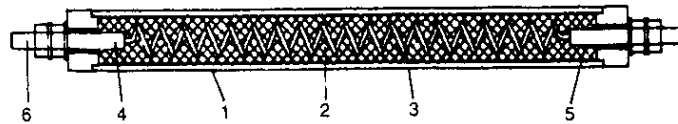


Figura 1.16 Sección de resistencia blindada típica

A continuación indicaremos cada una de las partes de las resistencias blindadas:

La resistencia propiamente dicha (3) está embebida en una masa refractaria (2) de magnesia electrofundida dentro de una funda metálica (1), completándose con los terminales (4) y los elementos de cierre de estanco (5) y de aislamiento (6).

En hornos se emplean únicamente para bajas temperaturas, ya que la potencia eléctrica de la resistencia debe pasar por conducción a través de la masa cerámica y de la funda metálica y, por convección y/o radiación del exterior de la funda metálica a la carga o interior del horno.

Las fundas metálicas suelen ser de latón, acero al carbono, inoxidable o refractario y, en casos especiales de titanio.

1.5.5.6 Disposición de las resistencias

Las resistencias se disponen en una o varias de las siguientes superficies: paredes laterales, bóveda, solera y puertas.

1.5.5.7 Terminales y conexiones

En este paso se tiene por objeto realizar la unión eléctrica y mecánica entre las resistencias del interior del horno y los cables eléctricos de conexión en el exterior. Se debe efectuar tres pasos básicos que son:

- Paso de corriente eléctrica a través del aislamiento térmico del horno, consiguiendo el suficiente aislamiento eléctrico.
- Unión eléctrica y mecánica con las resistencias del horno, por tanto sometida a temperatura de la resistencia.
- Unión eléctrica con los cables o barras de alimentación en el exterior del horno.

El material más adecuado de los terminales es el mismo que el de las resistencias. Sin embargo, es frecuente, para resistencias de 80 Ni – 20 Cr, que los terminales sean de una calidad inferior (40 Ni – 20 Cr ó 20 Ni – 25 Cr).

La sección del terminal es, como mínimo, el triple de la sección de la resistencia y la soldadura entre el terminal y la resistencia debe realizarse con gran cuidado. (Véase figura 1.17).

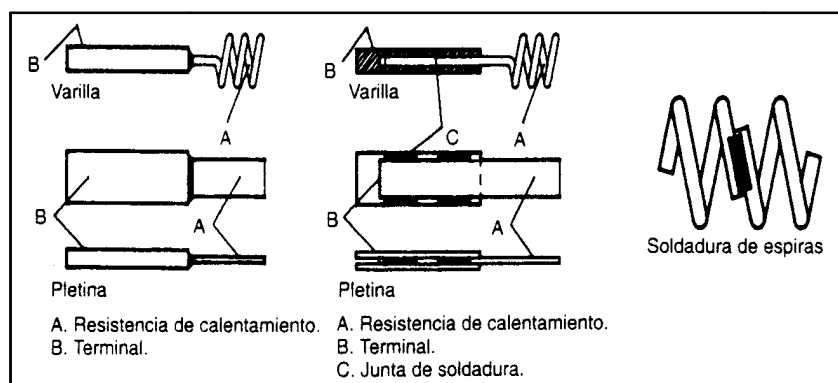


Figura 1.17 Soldadura de terminales y resistencias

En el paso del terminal a través del aislamiento del horno se presenta un problema de aislamiento eléctrico, el cual se resuelve mediante tubos cerámicos de silimanita o materiales similares. En hornos con aire en el interior es suficiente un relleno con borra de fibra cerámica, por ejemplo en hornos de atmósfera controlada es necesario además prensaestopas entre el terminal y la cardería del horno.

El terminal de resistencias se puede roscar en un extremo frío donde se atornilla el terminal del cable de alimentación. En las figuras 1.18 y 1.19 se muestran dos soluciones típicas para resistencias de alambre en espiral y en pletina ondulada, ambas con terminales redondos. Sin embargo, no es la mejor solución, ya que al cabo de muchos meses de funcionamiento suele ser difícil soltar los terminales por estar las roscas y tuercas agarrotadas.

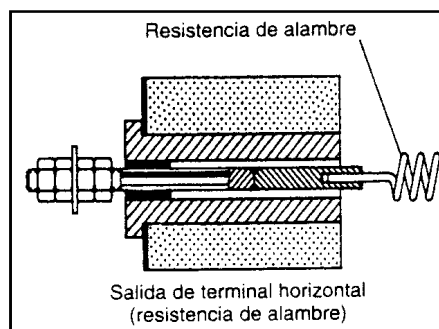


Figura 1.18 Terminal para resistencia de alambre

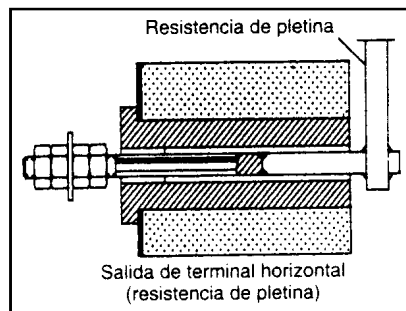


Figura 1.19 Terminal para resistencia de pletina

Es preferible colocar mordazas sobre los terminales lisos que se atornillan, interponiendo láminas de cobre para asegurar un buen contacto.

1.5.5.8 Cálculo de resistencias metálicas

Las resistencias instaladas en un horno se comportan como una carga eléctrica puramente resistiva. Las relaciones entre la tensión V , la intensidad I , la potencia P y la resistencia eléctrica a temperatura R_T se deducen de la ley de ohm. La figura 1.20 permite determinar fácilmente las relaciones existentes entre dichas magnitudes. La potencia máxima que puede disponerse en el interior de un horno con resistencias metálicas depende de la temperatura máxima y de la disposición que se adopten a las mismas.

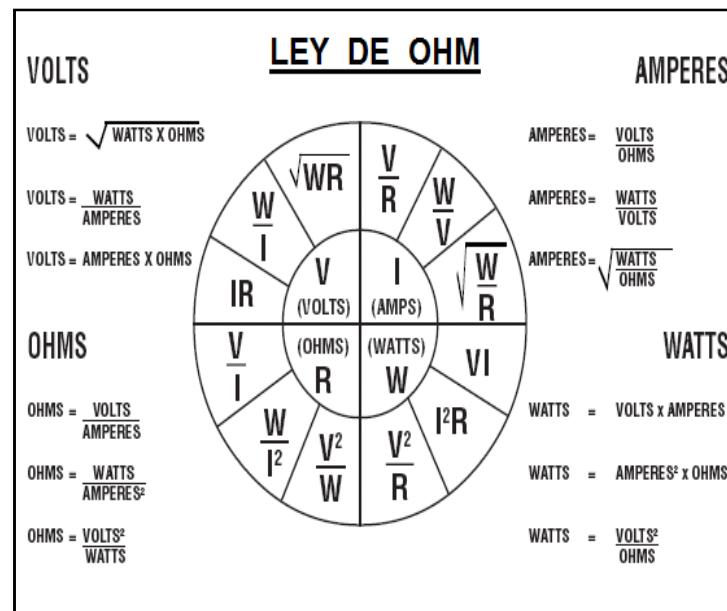


Figura 1.20 Relación entre magnitudes eléctricas

Al conocer la potencia del horno se puede determinar la superficie requerida para instalar las resistencias. Si es posible, se dispondría únicamente en las paredes laterales, pero, si es necesario se emplearía a otras superficies como bóveda solera, puerta, etc.

Las formulas generales que permiten calcular las resistencias son:

➤ Resistencia eléctrica a 20° C de longitud l (cm):

- Alambre de diámetro d (cm)

$$R_{20} = \rho \frac{4l}{\pi d^2} (\Omega)$$

Donde:

ρ = es la resistividad en $\Omega \cdot \text{cm}$

l = longitud de la resistencia.

d = diámetro de la resistencia.

➤ Resistencia eléctrica a la temperatura $T^\circ\text{C}$ de las resistencias:

$$R_T = C_t * R_{20} (\Omega)$$

Donde C_t es el coeficiente de resistividad de las tablas 1.8 y 1.11 para aleaciones Ni-Cr y Fe-Cr-Al, respectivamente.

➤ Superficie radiante de la resistencia (A_c):

- Alambre de diámetro d (cm).

$$A_c = \pi * d * l (\text{cm}^2)$$

Un dato fundamental en las resistencias es la carga específica que, para unas condiciones de disposición de las mismas, determina la diferencia de temperatura entre las resistencias y la carga a calentar en el interior del horno.

En la figura 1.21 se indica la carga específica en función de la temperatura del horno para las aleaciones Fe-Cr-Al y Ni-Cr.

Se deduce que:

$$P = A_c * p \text{ (W)}$$

Donde:

P = Potencia (W)

p = es la carga específica en W/cm².

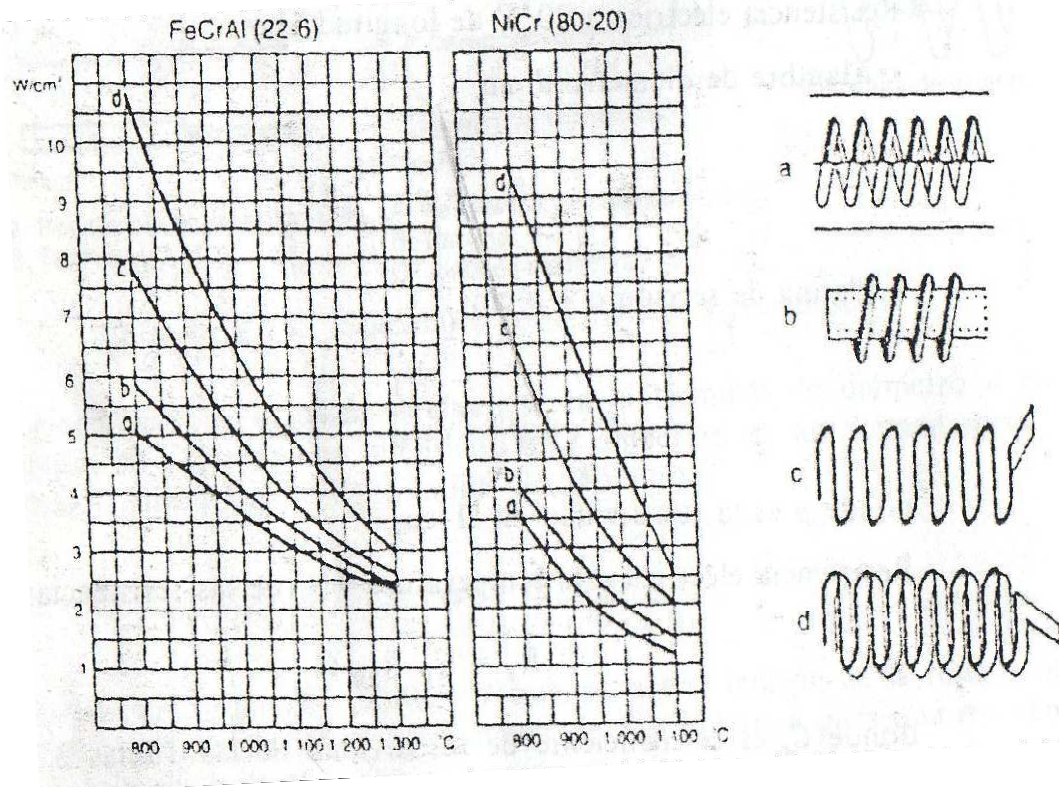


Figura 1.21 Carga específica máxima de resistencias

➤ Relación A_c/R_{20} :

Aplicando la formula:

$$P = I^2 * R_t$$

Donde:

I = Corriente (A)

Rt = Resistencia a una temperatura °T

Se deduce fácilmente:

$$\frac{A_c}{R_{20}} = \frac{P}{R_{20} * p} = \frac{I^2 * R_t}{R_{20} * p} = \frac{I^2 * C_t}{p} = \frac{P^2 * C_t}{V^2 * p} \text{ (cm}^2/\Omega\text{)}$$

Para cada aleación Ni-Cr o Fe-Cr-Al el fabricante facilita tablas que dan, para diferentes diámetros de alambre, el valor de A_c / R_{20} .

➤ Eliminando la longitud entre:

$$P = \frac{V^2}{R_t} = \frac{V^2}{C_t * R_{20}} \quad y \quad P = A_c * p$$

Resulta:

- Para alambre de diámetro d (cm):

$$P = \frac{\pi}{2} * V * \sqrt{\frac{p * d^3}{\rho * C_t}} \text{ (W)}$$

En hornos eléctricos es frecuente la conexión directa de las resistencias a la red a 220 o 380 V, lo que en circuitos en estrella o triangulo permite tener en cada rama de las resistencias 127, 220 o 380 V, para los diámetros y secciones mas

normales de resistencias se dispone de tablas para cada aleación y carga específica que indican la potencia, longitud requerida y peso de la resistencia a 127, 220 o 380 V.

De la ecuación anterior despejamos el diámetro, resulta:

$$d = 0.74 * \sqrt[3]{\left(\frac{P}{V}\right)^2 * \frac{\rho * C_t}{p}} \quad (cm)$$

➤ Longitud de las resistencias:

$$l = \frac{P}{\pi * d * \rho} \quad (cm)$$

Como se aprecia en la figura 1.21 las dimensiones de la espiral se determinan teniendo en cuenta los siguientes límites como se indica en la tabla 1.12.

	aleación Ni-Cr		aleación Fe-Ni-Al	
	en ranuras	en tubos	en ranuras	en tubos
D/d elementos < 1000°C	6-9	12-14	6-8	12-14
D/d elementos > 1000°C	5-8	12-14	5-6	12-14
paso S/d	2-3	3-6	2-3	3-6

Tabla 1.12 Diámetro de la espiral

Valores de D inferiores producen tensiones mecánicas de arroyado, y mayores dan lugar a espiras débiles.

- Numero de espiras:

$$N = \frac{l}{\pi * (D - d)}$$

Donde:

N = numero de espiras

D = diámetro de la espiral

- Longitud arrollada:

$$Lw = N * d \text{ (cm)}$$

- Longitud de espira extendida:

$$L = s * N \text{ (cm)}$$

Donde:

s = paso de arrollamiento

1.5.6 TIPO DE CONEXIONES

La ley de Ohm puede ser modificada para calcular valores trifásicos adicionando un factor de corrección para las relaciones del voltaje de fase. Las ecuaciones trifásicas pueden aplicarse a cualquier circuito delta o estrella. Los términos usados en las ecuaciones son identificados:

VL = Voltaje de línea

VF = Voltaje de fase

IL = Corriente de línea (A)

I_F = Corriente de fase(A)

P_T = Potencia total

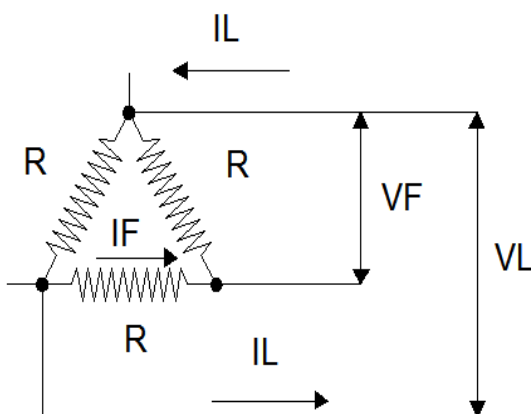
P_F = Potencia de fase

R = Resistencia del elemento

En sistemas trifásicos se tiene dos posibilidades de conexión de la carga. Esto es en estrella (Y) o en delta (Δ).

Si mantienen los mismos valores de voltaje y resistencia, la potencia de consumo de cada una de las conexiones va a ser diferente, esto es:

Conexión delta (Δ)



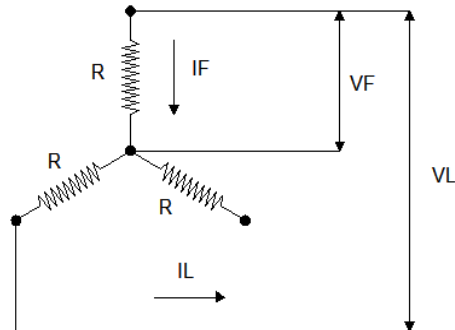
$$V_L = V_F$$

$$I_L = \sqrt{3} * I_F$$

$$P_F = V_L * I_F$$

$$P_T = \sqrt{3} * I_L * I_F$$

Conexión Estrella (Y)



$$V_L = \sqrt{3} * V_F$$

$$I_L = I_F$$

$$P_F = \sqrt{3} * I_L * V_L$$

$$P_T = \sqrt{3} * V_L * I_L$$

1.5.7 EQUIPO DE REGULACION Y CONTROL

En general todos los tipos de hornos, deberán operar a una temperatura constante o seguir un ciclo determinado de calentamiento, mantenimiento y enfriamiento a lo largo del tiempo. Es importante conseguir dicha temperatura o ciclo de tratamiento en la carga, pero también es importante que el horno no sobrepase la temperatura prefijada, para proteger debidamente los elementos metálicos y cerámicos en su interior.

La regulación de temperatura en los hornos, es muy importante ya que si esta no se controla pueden dar muchos errores. Una cosa es el termopar de detección de la temperatura en un punto del interior del horno junto con el aparato de regulación, y otra muy distinta es la carga, la cual ocupa un amplio espacio en el interior de la cámara, con un buen control de temperatura lo que se busca

conseguir es una cierta uniformidad de temperatura, no sólo en la superficie, sino en toda la masa de la carga.

1.5.8 REGULACIÓN DE LA TEMPERATURA

En un equipo de regulación de temperatura se distinguen tres elementos fundamentales (como se indica en la figura 1.22):

- El detector propiamente dicho (termopar)
- El aparato de medición y control, el cual envía una señal de actuación
- El órgano regulador, el cual recibe la señal del anterior y actúa, sobre la entrada de corriente en los hornos calentados eléctricamente.

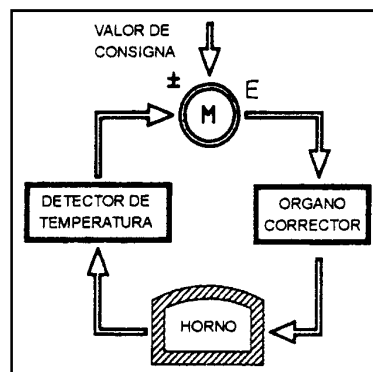


Figura 1.22 Esquema de regulación de un horno

Como detectores de temperatura se emplean:

- Termómetros de dilatación (de sólido-lámina bimetálicos, de líquidos como el mercurio, alcohol, de gases y vapores).
- Termómetros de resistencia eléctrica y termistancia hasta 500 °C.
- Termopares o pirómetros termoeléctricos hasta 1 400 °C.
- Lunetas de radiación a partir de los 900 °C.
- Otros tipos.

De todos ellos los más utilizados en la industria son los termopares (termocupla).

Son también importantes las cañas de protección de los termopares (metálicas y cerámicas) y los hilos de compensación, adecuados a cada tipo de termopar, de unión entre éste y el aparato de regulación.

1.5.8.1 Termopares

Los termopares se utilizan para la detección de temperaturas comprendidas entre 200 y 1 400 °C, aunque en ocasiones se emplean para temperaturas bajas (-200 °C) y altas (1700 °C).

Están basadas en la fuerza electromotriz que se producen al calentar un extremo soldado, de un par de hilos o alambres metálicos de diferentes composiciones, entre el extremo caliente y el extremo frío de dichos alambres.

La fuerza electromotriz es proporcional a la diferencia de temperaturas entre la soldadura caliente y la soldadura fría de los alambres.

Por otra parte, el termopar está situado en un punto concreto del interior del horno, recibiendo, por ejemplo, radiación, no solamente de la carga sino también de las resistencias y de las paredes refractarias, como se indica en la figura 1.23.

Especialmente durante el calentamiento la diferencia de temperatura entre las resistencias, el refractario y la carga son muy elevados, señalando el termopar una temperatura intermedia entre todas ellas

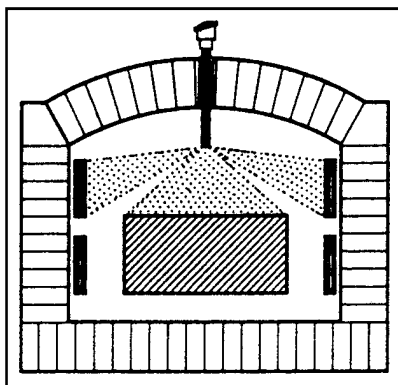


Figura 1.23 Termopar en un horno

1.5.8.2 Aparato de regulación y medición

Los aparatos de medición y control se han clasificado tradicionalmente en galvanómetros, potenciómetros (simples o de amplificación electrónica) y neumáticos. Estos últimos actúan sobre los órganos de regulación por intermedio de aire comprimido, y los demás mediante una señal de salida eléctrica. Actualmente no se utilizan ya los galvanómetros.

1.5.8.3 Órgano de regulación

Los órganos de regulación pueden ser:

- Contactores, válvulas electromagnéticas, reactancias de núcleo saturable, tiristores, etc.
- Válvulas motorizadas.
- Válvulas neumáticas.

1.5.8.3.1 Regulación por contactores

La regulación de hornos calentados por resistencias se realiza casi exclusivamente por contactores, componentes eléctricos simples y de fácil mantenimiento, pero que presentan algunos inconvenientes:

- Riesgo de apagado de los contactores.
- Necesidad de establecer un diferencial de temperatura entre conectado y desconectado, esto depende del tiempo de respuesta del conjunto resistencia – termopar, para evitar un número excesivo de maniobras.
- Variación en la temperatura de las resistencias de horno conectado a horno desconectado.

La regulación de la potencia por contactores puede hacerse en dos a tres niveles. En la regulación de dos niveles el contactor de zona están abiertos o cerrados. Durante el tiempo de mantenimiento a temperatura, la potencia demandada por el horno corresponde a la potencia de perdidas, mientras que la potencia conectada durante los cortos tiempos en el que el contactor está cerrado, es la nominal del horno, por lo que las oscilaciones de temperaturas son máximas cuando se requiere precisión de temperatura. La figura 1.24 muestra un esquema de regulación por contactores de dos niveles (todo-nada).

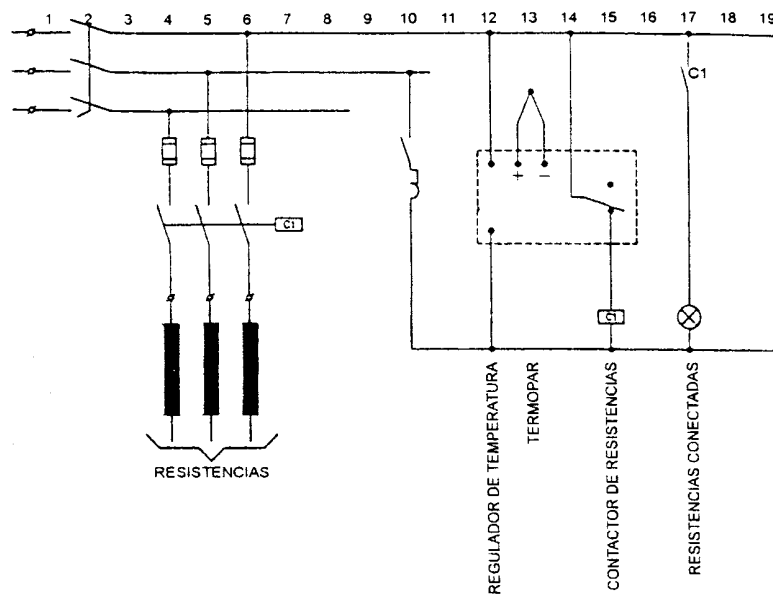


Figura 1.24 Regulación todo-nada por contactores

1.5.9 ELEMENTOS ELÉCTRICOS

1.5.9.1 El pulsador

El pulsador es un elemento eléctrico que permite o interrumpe el paso de la corriente eléctrica mientras este es accionado. Cuando ya no se actúa sobre él, este vuelve a su posición de reposo. Los pulsadores pueden ser de dos tipos: normalmente abiertos (NO) o normalmente cerrados (NC), como se muestra en la figura 1.25.

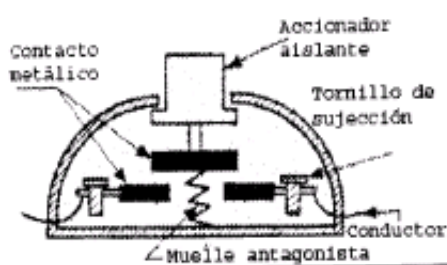


Figura 1.25 Componentes de un pulsador

1.5.9.2 El contactor

Un contactor es un dispositivo con capacidad de cortar la corriente eléctrica de un receptor o instalación, con la posibilidad de ser accionado a distancia, en lugar de ser operados manualmente.

1.5.9.2.1 Partes constitutivas del contactor

En un contactor electromagnético se distinguen los siguientes elementos principales:

- Contactos

- Electroimán
- Bobina
- Elementos mecánicos
- Cámara de extinción del arco eléctrico

En la figura 1.26 se puede apreciar claramente la estructura elemental de un contactor electromagnético.

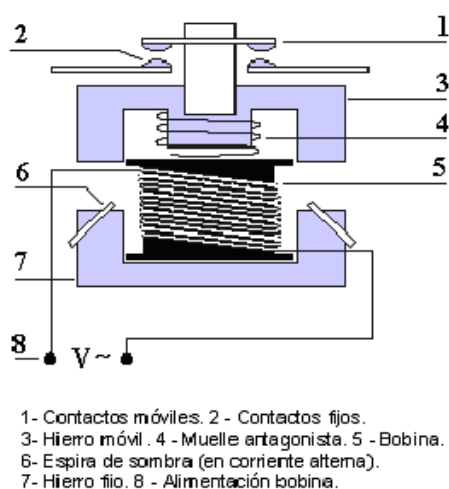


Figura 1.26 Esquema elemental de un contactor

Para elegir el contactor que más se ajusta a nuestras necesidades, se debe tener en cuenta los siguientes criterios:

- Tipo de corriente, tensión de alimentación de la bobina y la frecuencia.
- Potencia nominal de la carga.
- Si es para el circuito de potencia o de mando y el número de contactos auxiliares que necesita.
- Para trabajos silenciosos o con frecuencias de maniobra muy altas es recomendable el uso de contactores estáticos o de estado sólido.

1.5.9.3 Elementos de protección

Son dispositivos cuya finalidad es proteger una carga. Se dice que un conductor o un motor están sobrecargados cuando la corriente que circula por ellos es superior al valor para el cual fueron diseñados.

1.5.9.3.1 Relés térmicos

Son elementos de protección únicamente contra sobrecarga, cuyo principio de funcionamiento se basa en la deformación de ciertos elementos (bimetálicos) bajo el efecto de calor, unos contactos auxiliares que desenergicen todo el circuito de mando, al mismo tiempo energizan un elemento de señalización. En la figura 1.27 se puede apreciar diversos tipos de relés térmicos.



Figura 1.27 Relés térmicos

1.5.9.3.2 Relés de tiempo o temporizadores

Son aparatos en los cuales se abren o cierran determinados contactos, llamados contactos temporizados, después de cierto tiempo, debidamente preestablecido, de haberse abierto o cerrado su circuito de alimentación. En la figura 1.28 se puede visualiza un temporizador de uso común.



Figura 1.28 Temporizador

1.5.9.3 Temporizador al trabajo o más conocidos como on – delay

Aquel cuyos contactos temporizados actúan después de cierto tiempo de que se ha energizado el elemento motor del temporizador. En el momento de energizar el temporizador, los contactos temporizados que tiene siguen en la misma posición de estado de reposo y solamente cuando ha transcurrido el tiempo programado, cambian de estado, es decir que el contacto NA se cierra y el contacto NC se abre. En la figura 1.29 se muestra el diagrama lógico de un temporizador on delay

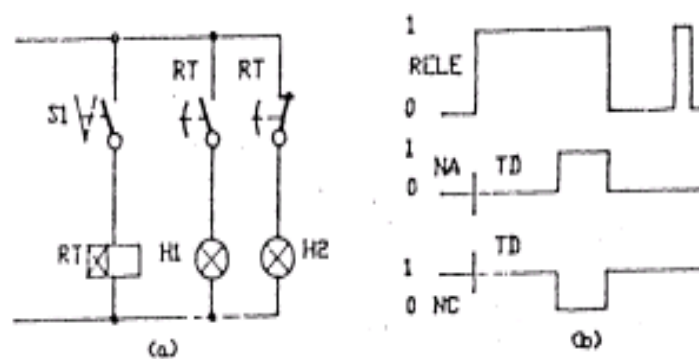


Figura 1.29 Relé on-delay (a) circuito básico, (b) Diagrama lógico de secuencia

1.5.9.3.4 Temporizador al reposo también conocido como off-delay

En este tipo de temporizador, los contactos temporizados actúan como temporizados después de cierto tiempo de haber sido desenergizado el elemento motor del temporizador. Cuando se energiza el temporizador, sus contactos temporizados actúan inmediatamente como si fueran contactos instantáneos, manteniéndose en esa posición todo el tiempo que el temporizador esté energizado. En la figura 1.30 se muestra el diagrama lógico de un temporizador off – delay

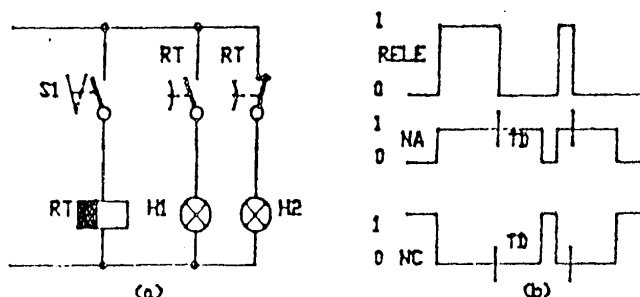


Figura 1.30 Relé off-delay (a) circuito básico, (b) Diagrama lógico de secuencia

1.5.10 ESQUEMAS ELÉCTRICOS

Un esquema eléctrico puede ser definido como la representación simbólica de un aparato, red, instalación o parte de esta, en la que se indican las relaciones mutuas existentes entre los diferentes componentes y los medios de unión utilizados para el efecto.

Un esquema o diagrama eléctrico es la forma más sencilla de exponer una instalación eléctrica, sea cual fuere el grado de complejidad de la misma, ya que conociendo las leyes fundamentales y siguiendo el sentido en el que se supone circula la corriente, se interpreta fácilmente su funcionamiento.

1.5.10.1 Tipos de diagramas eléctricos

Entre la numerosa variedad de esquemas eléctricos existentes, cabe hacer una distinción entre los esquemas explicativos y los esquemas de realización.

Los esquemas explicativos, como su nombre lo indican, son todos aquellos que tienen por misión facilitar el estudio y la comprensión del funcionamiento de una instalación o parte de ella.

Los esquemas de realización en cambio, facilitan el montaje, la ejecución y revisión del alambrado de los aparatos.

Entre los diferentes tipos de esquemas más comúnmente utilizados, cabe mencionarse:

- Diagrama unifilar
- Diagrama esquemático
- Esquema de alambrado
- Esquema de interconexión

1.5.10.1.1 Diagrama unifilar

Es un diagrama simplificado, que representa al circuito principal, dibujado a través de una sola línea y sobre la cual indica el número de conductores a través de trazos pequeños.

1.5.10.1.2 Diagrama esquemático

Sirve para hacer comprender en detalle el funcionamiento de un equipo, facilitar en cierta forma el alambrado y ayudar durante una reparación eventual.

1.5.10.1.3 Diagrama de alambrado

Es el que muestra todo el conexionado que debe realizarse en el montaje y agrupa eléctricamente al circuito principal, el de control y señalización.

1.5.10.1.4 Diagrama de interconexión

Se utiliza cuando existen varios conjuntos y conexionados separadamente, pero que eléctricamente deben interconectarse para su funcionamiento.

1.5.10.2 Circuito de fuerza

Forma parte de los diagramas funcionales o esquemáticos en los cuales no se representa el elemento físicamente como un solo conjunto sino con sus diferentes componentes (contactos bobinas y otros) se los coloca en diferentes sitios de acuerdo con la necesidad del problema a resolver pues lo que interesa es facilitar el diseño y comprensión del circuito.

El circuito de fuerza también llamado principal, se representa como un arreglo multifilar y en el que se indican la forma de alimentación de la carga, la forma de protección del circuito, y las conexiones que se realizan para alimentar y hacer funcionar adecuadamente un motor o cualquier otra carga eléctrica.

Este tipo de diagrama se lo usa generalmente en circuitos de control industrial y su objetivo es ayudar al diseño así como al análisis del funcionamiento de un circuito, un ejemplo de este diagrama tenemos en la figura 1.31.

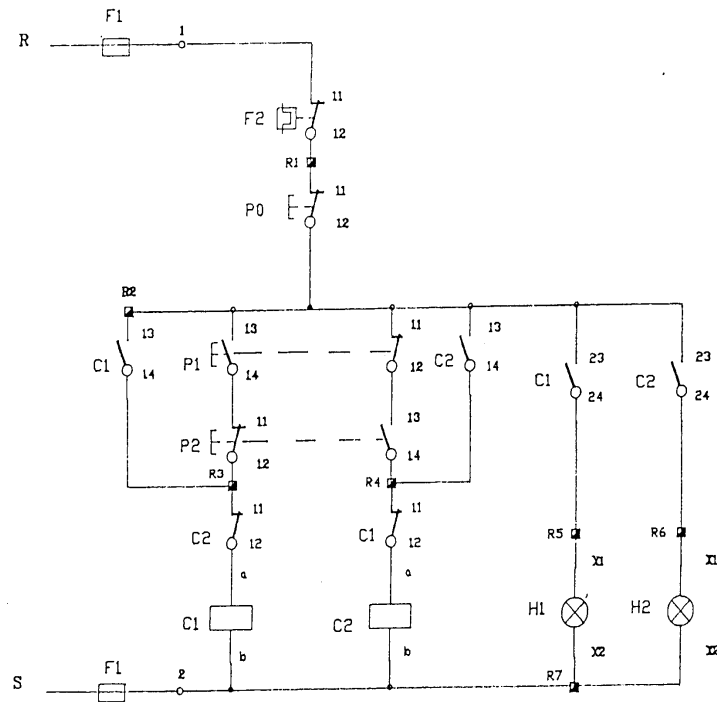


Figura 1.32 Circuito de control para la inversión de giro de un motor trifásico

1.5.11 SÍMBOLOS ELÉCTRICOS

Cada uno de los dispositivos eléctricos que constan en una instalación se representa por un símbolo gráfico, los que pueden ser más o menos simplificados según las necesidades del esquema.

Los símbolos por tanto deben ser lo más simples y sencillos posible; y lo suficientemente diferentes entre ellos de tal forma que no induzcan errores de interpretación en la lectura del esquema.

Algunos de estos símbolos eléctricos se podrán observar en el **anexo 1**, cuyos símbolos son estandarizados según ciertas normas.

CAPÍTULO II

DISEÑO Y PARTES CONSTITUTIVAS DEL HORNO

2.1 GENERALIDADES

Este trabajo se basa en una metodología que considera las más importantes recomendaciones sobre los parámetros de diseño del horno y de su operación.

A continuación se realiza un resumen completo de todos aquellos detalles técnicos necesarios para un buen diseño y construcción del horno, es decir las funciones que debe cumplir cada una de las diferentes partes, considerando los materiales de los cuales están constituidos, características, sus propiedades físicas y mecánicas.

2.2 ESTRUCTURA METÁLICA

2.2.1 DISEÑO GENERAL

Es el conjunto de cálculos y planos estructurales efectuados para determinar las dimensiones, características y disposiciones geométricas partiendo de la información básica. Este diseño incluye:

- Cálculo estructural
- Diseño geométrico de la estructura
- Especificaciones de los materiales
- Especificaciones de fabricación y montaje

2.2.1.1 Cálculo estructural

La estructura debe soportar un peso aproximado de 20 Kg, esta deberá reunir varias características como: resistencia, ligereza, durabilidad y seguridad.

Para determinar las características, lo haremos en base a un cálculo sencillo y estos resultados los compararemos con los determinados por el fabricante de perfiles metálicos para la construcción.

Con el peso de la carga (W), el cual está ubicado en el punto medio, a lo largo de la estructura (700mm). Con este dato procedemos a calcular las reacciones (R_A , R_B) que tendrá la estructura en ciertas partes, como se muestra en la figura 2.1.

$$R_A = R_B = \frac{W}{2} = \frac{20Kg.}{2} = 10Kg.$$

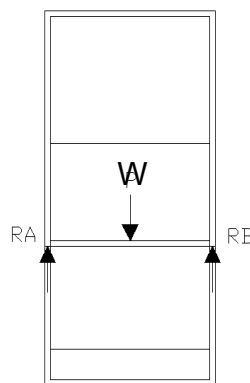


Figura 2.1 Grafico esquemático de la estructura

Donde:

W = Peso de la carga

R_A = Reacción en el punto A

R_B = Reacción en el punto B

La sección máxima de solicitación está definida por la siguiente ecuación:
(sección de empotramiento).

Donde tenemos:

$$M_f = \frac{W * l}{4} = \frac{20Kg * 70cm.}{4} = 350Kg * cm.$$

M_f = sección máxima de solicitación.

W = peso de la carga.

l = Longitud de la viga.

Calculo del esfuerzo máximo cortante:

$$C_f = \frac{W}{2} = \frac{20}{2} = 10Kg.$$

Donde:

C_f = esfuerzo máximo cortante.

W = peso de carga.

La deformación elástica se calcula en base a la siguiente ecuación:

Se asume un ángulo estructural cuya sección transversal esta formado por dos alas iguales de 20mm de longitud y un espesor de 3 mm.

$$t_e = \frac{W}{S} = \frac{20Kg}{20mm * 20mm} = 0.05Kg / mm^2.$$

t_e = deformación elástica

S = sección angular o de empotramiento

W = peso de la carga

La viga bajo ciertas condiciones de trabajo tendrá una deformación (ΔL), la cual está dada por la siguiente ecuación:

$$\Delta L = \frac{W * l}{E * S} = \frac{20Kg * 700mm}{22000 \frac{Kg}{mm^2} * 400mm^2} = 1.59 \times 10^{-3} mm$$

Donde:

ΔL = Deformación

W = Peso de la carga

l = Largo de la viga

E = Modulo de elasticidad (ver tabla 2.1)

S = Sección de la viga

Para tener una estabilidad a la tracción del material se debe tomar en cuenta el coeficiente de resistencia K (carga de seguridad), cuyo valor para aceros dulces esta dado en la tabla 2.1. La condición de estabilidad de la tracción resulta ser:

$$\frac{W}{S} \leq K$$

$$K = 13 / 20$$

$$\frac{20Kg}{400mm^2} \leq 0.65$$

$$0.05 \leq 0.65$$

Donde:

K = coeficiente de resistencia

Coeficiente de resistencia de algunos materiales de empleo más corriente						
Materiales	E Modulo de elasticidad Kg/mm ²	R (Kg/mm ²) carga de rotura		P _e (Kg/mm ²) Carga del limite de elasticidad	K Coeficiente de resistencia	
		Tracción	Compresión		Maquinas	Construcción
Hierro soldado	20000	30/36	28/30	16/20	9	8/10
Hierro homogéneo	20000	35/40	28/30	18/24	9/12	8/10
Acero dulce	22000	40/60	>80	25/35	12/15	13/20
Acero al níquel	22000	50/110	>80	30/50	20/25	18/24
Acero especial al cr, S.	- 20000	90/180	-	60/120	15/30	-
Alambre de hierro	24000	75/200	-	40/50	18/30	24/30
Alambre de acero	10000	10/15	60/80	trac.6- comp. 13	trac.3- comp. 9	trac.2- comp. 5
Fundición	11000	13/15	40	-	-	-
Cobre de lingote	11000	20/25	40/50	trac.10	3/5	-
Cobre de chapas	13000	40/60	-	trac.5	4/6	-
Cobre en alambre	7000	10/12	-	-	-	-
Aluminio en chapas	6500	12/15	50	5	1.5	-
Latón en lingotes	10000	20/25	70/90	10	3.5	-
Latón en chapas	10000	35/80	-	12	4/6	-
Latón en alambre	7000	15/25	50	6/10	2/3	-
Bronce en lingotes	9800	30/40	-	13.5	7	-
Bronce en fósforo	9500	16	-	2.5	-	-
Cinc en chapas						
Madera dura en dirección de las fibras	1200	8/9	4/5	trac. 2.5 – comp. 2.2	0.6	trac.1- comp. 0.6
Madera perpendicular a las fibras	150	1.2	2.5	-	-	-
Madera blanda en dirección de las fibras	1000	7/8	3/4	trac. 2.2 – comp. 1.6	0.4	trac.0.6- comp. 0.4

Tabla 2.1 Coeficiente de resistencias de algunos materiales

Con los valores asumidos de ángulos estructurales observamos que se cumple la condición de estabilidad de la tracción.

Estos valores están dentro de los parámetros recomendados. Bajo todas las especificaciones anteriores obtendremos una estructura metálica elaborada en acero de baja calidad o acero de construcción corriente, ASTM 36, existe una gran gama de tipos pero se escogió este debido a que es el más común para obras de cerrajería.

Lo que para nuestro diseño utilizaremos un ángulo estructural de alas iguales de 20mm x 20mm con un espesor de 3mm. En el **anexo 2** se tiene algunas especificaciones de los ángulos estructurales.

Las uniones de estos materiales se la denomina unión simple, lo cual consta de unir dos o más elementos metálicos, para lo cual se puede emplear uno o varios de los siguientes sistemas: remaches, tornillos, o soldadura. Sin embargo sea visto el mejoramiento de las técnicas de producción reflejadas en la unión por soldadura mediante arco eléctrico, cuyo método es mas practico, rápido y económico.

2.2.1.2 Diseño geométrico de la estructura

El diseño geométrico de la estructura se la escoge de acuerdo a las dimensiones de la carga. También se debe tomar en cuenta al tipo de proceso que se va a someter a la carga, en nuestro caso existe una recirculación de aire forzado, para lo cual se deberá tener el espacio suficiente y las condiciones necesarias para que ocurra este efecto de aire.

Este diseño consta de tres cámaras:

- Cámara Interior
- Cámara Intermedia
- Cámara Exterior

2.2.1.2.1 Dimensionamiento de la cámara interna

El principal factor que determina el dimensionamiento de la cámara del horno es la carga que este va a manejar, en este caso se considera como carga al estator del motor de 10 HP, cuyas dimensiones y peso están establecidas en el **anexo 3**. El dimensionamiento de este horno se lo ha hecho en base a la consideración de su carga como se ha establecido anteriormente, la cual también depende del

número máximo de motores a introducir dentro de su cámara, y del peso de estos. Para nuestro caso el horno se lo ha dimensionado para la ubicación de un estator de un motor de 10 HP, con un peso aproximado entre los 20 Kg.

Tomando en cuenta las dimensiones de la carga se establece que necesitamos una cámara de 70cm x 100cm x 70cm, cuyas paredes laterales debe tener un sistema de distribución de aire para obtener una calefacción uniforme dentro de la cámara, esto se obtiene relajando múltiples perforaciones en las placas laterales con un diámetro de 8 mm.

Para llegar a estas dimensiones se tubo que analizar el espacio que debía quedar entre las paredes de la cámara y la carga, la cual tiene que contar con el suficiente espacio para que exista la circulación de aire forzado horizontal – vertical.

Esta circulación de aire forzado se lo logra mediante la utilización de un ventilador centrífugo.

Por otro lado también necesitaremos una estructura metálica para colocar la carga, la misma que soportare un peso aproximado de 20 kg, para lo cual tenemos que elaborar una estructura resistente y ligera, tomando en cuenta el costo de los materiales, la facilidad de conseguirlos dentro del mercado local, y cual es el método más adecuado y conveniente para su elaboración (soldado, remachado).

2.2.1.2.2 Dimensionamiento de la cámara intermedia

En la cámara intermedia se debe considerar el espacio adecuado para la circulación de aire, en esta se colocaran las resistencias con sus debidos soportes cerámicos, el espacio entre la cámara interna y la cámara intermedia, sirve como camino en donde va a circular el aire caliente, con la ayuda de un ventilador ubicado en la parte superior del horno.

2.2.1.2.3 Dimensionamiento de la cámara externa

Esta es la cubierta exterior del horno. Cabe señalar que entre la cámara externa y la cámara intermedia debe ser colocado el material aislante o refractario a utilizarse.

Estas cámaras están elaboradas en planchas de acero al carbono o más conocidas como planchas de tool ASTM A 36 de un espesor de 1.5 mm. La elección de este material se la hizo debido a varias características que tienen como maleabilidad, resistencia, etc.

Todas estas cámaras van sujetas a la estructura metálica mediante pernos y soldadura según sea el caso. En la figura 2.2 se puede observar claramente cada una de las cámaras.

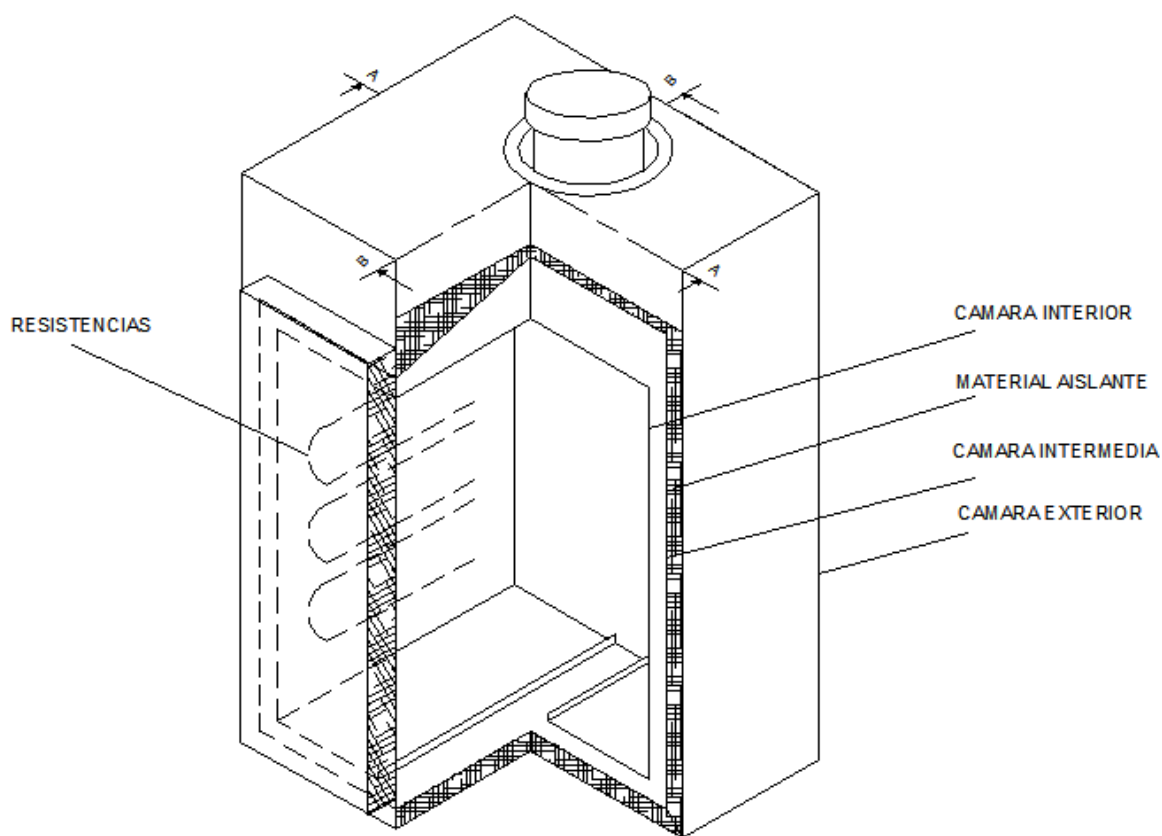


Figura 2.2 Descripción grafica de las cámaras del horno

Para el horno se ha tomado como aislante térmico lana mineral, para realizar esta elección se debe tomar en cuenta la temperatura de trabajo del horno, como la temperatura del horno no supera los 700 °C, esta temperatura es la que tiene como límite la lana mineral, entonces se adapta con gran facilidad a este tipo de horno. También se tomo en cuenta el costo de este material en relación a otros aislantes térmicos el cual es relativamente más bajo que los otros.

2.3 CÁLCULO DE LA CIRCULACIÓN DE AIRE FORZADO

La cantidad de aire depende de algunos factores, tales como el diámetro, la forma de las cuchillas, velocidad (revoluciones por minuto o rpm), potencia (CV) del motor, y el diseño del ventilador general. Estos factores combinados establece la capacidad de aire que se mueve en un ventilador. La capacidad del ventilador se mide en términos de CFM (pies cúbicos por minuto).

Nuestro diseño adopta el tipo de recirculación de aire como el de la figura 2.3.

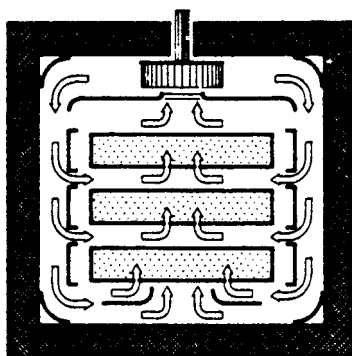


Figura 2.3 Horno de convección, circulación horizontal-vertical, ventilador centrífugo.

2.3.1 CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS DE AIRE FORZADO

Para el cálculo de los parámetros del aire forzado tendremos que partir de algunos datos básicos.

Como datos tenemos:

Temperatura a la cual llega el horno 200 °C.

Con este valor de temperatura procedemos a transformarla en grados Fahrenheit.

$$^{\circ}F = \frac{9}{5} * 200^{\circ}C + 32 = 392^{\circ}F \approx 400^{\circ}F$$

Con esta temperatura vamos a la tabla 2.2.

Amt. of Air CFM	Temperature Rise (°F)										
	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	600
100	1,7	3,3	5	6,7	8,3	10	11,7	13,3	15	16,7	20
200	3,3	6,7	10	13,3	16,7	20	23,3	26,7	30	33,3	40
300	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60
400	6,7	13,3	20	26,7	33,3	40	46,7	53,3	60	66,7	80
500	8,3	16,7	25	33,3	41,7	50	58,3	66,7	75	83,3	100
600	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	120
700	11,7	23,3	35	46,7	58,3	70	81,7	93,3	105	116,7	140
800	13,3	26,7	40	53,3	66,7	80	93,3	106,7	120	133,3	160
900	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	180
1000	16,7	33,3	50	66,7	83,3	100	116,7	133,3	150	166,7	200
1100	18,3	36,7	55	73,3	91,7	110	128,3	146,7	165	183,3	220
1200	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	240

Tabla 2.2 Factor de elevación de temperatura

De la tabla 2.2 observamos que para un valor de temperatura en °F corresponde un factor de elevación de temperatura, indicando también los CFM correspondientes.

Se toma el valor mas bajo por que el aire esta en recirculación dentro de la cámara y no necesita mayor presión de empuje.

Para nuestro cálculo, con una temperatura de 400 °F le corresponde un factor de elevación de temperatura de 13.3 (valor adimensional), y 100 CFM (pies cúbicos por minuto).

Determinados los anteriores datos podemos calcular la potencia del motor que se requiere para mover tal cantidad de aire, mediante la siguiente ecuación.

$$Kw = \frac{CFM * \text{elevación de temperatura}}{3000}$$

Donde:

Kw = Potencia del motor en kilovatios.

CFM = Cantidad de aire que se necesita mover en pies cúbicos por minuto.

Elevación de temperatura = 13.3 obtenemos de la tabla 2.2

3000 = Valor constante.

$$Kw = \frac{100 * 13.3}{3000} = 0.4433 Kw = 443.33W \approx 1/2HP.$$

Con la potencia del motor calculada procedemos a buscar en la tabla 2.3 las características técnicas de los ventiladores centrífugos, se puede observar mas detalles en **anexo 4**.

CARACTERISTICAS TECNICAS

Modelo	Velocidad R.P.M.	Potencia H.P.	Intensidad máxima (A)			Caudal descarga libre m ³ /hr	Nivel Sonoro dB(A)*	Peso aprox. Kg
			440 V	220 V	127 V			
CEB-800	1550	1/20	-	-	0.9	800	53	5.5
CEB-1200	1625	1/10	-	-	1.35	1200	56	6.0
CET-B 2000	1725	1/2	1.0	2.0 / 5.0	11.0	1900	60	10.5
CET-B 2600	1725	3/4	1.6	3.3 / 6.3	13.1	2600	63	25.0
CET-4000	1725	1 1/2	2.9	5.8	-	3950	72	28.0
CET-5000	1725	2	3.7	7.4	-	5200	75	32.0
CET-6000	1725	3	5.1	10.2	-	6500	80	33.5

*Nivel sonoro medido de acuerdo a norma 300/96 AMCA y 301/96.

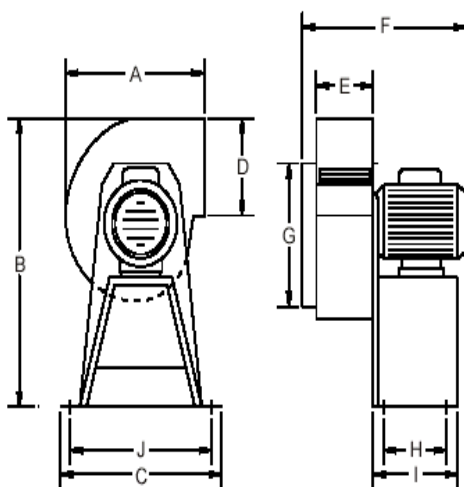
Tabla 2.3 Características técnicas de ventiladores centrífugos marca S&P

En esta tabla nos recomiendan los siguientes valores para un motor de dicha potencia.

Para una potencia de ½ HP nos recomienda un ventilador centrífugo modelo CET-B 2000, con una velocidad de 1725 rpm, una tensión de 220 V trifásicos, un nivel de sonido de 60 dB (desibeles) y un peso aproximado de 10.5 Kg.

Para establecer las dimensiones del caracol, para dicho ventilador tenemos la tabla 2.4.

DIMENSIONES



DIMENSIONES mm										
Modelo	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
CEB-800	274	400	295	148	87	220	153	50	100	274
CEB-1200	290	420	300	170	105	240	180	72	100	282
CET-B 2000	320	433	290	185	125	380	185	110	185	260
CET-B 2600	363	490	335	218	148	410	216	135	230	303
CET-4000	454	570	368	145	173	470	258	132	235	338
CET-5000	493	634	396	298	185	500	252	130	240	360
CET-6000	590	770	513	350	208	582	330	185	275	485

Tabla 2.4 Dimensiones del caracol

2.4 CÁLCULO DE LA POTENCIA

2.4.1 POTENCIA

La potencia del horno se obtiene mediante la cantidad de calor necesario para el calentamiento de la carga determinada por unidad de tiempo más las pérdidas por acumulación de calor debidas a la conducción de las paredes, mas las pérdidas debido a la convección y la radiación desde la parte exterior del horno. También se deberán tomar en cuenta ciertos parámetros en el cálculo de la potencia, como son:

- Temperatura.
- Dimensiones interiores de la cámara (volumen interno).
- Propiedades del aislamiento térmico.
- Clase, dimensiones y peso de la carga.

2.4.1.1 Temperatura

El horno que se va ha diseñar será utilizado para el secado o, en general, reducción del contenido de humedad de los bobinados de los motores, y en ocasiones para el esmaltado de los mismos, teniendo como temperatura máxima de servicio los 200 °C.

2.4.1.2 Dimensiones interiores de la cámara

Las dimensiones de la cámara son:

Ancho = 700 mm.

Altura = 1000 mm.

Profundidad = 700 mm.

Teniendo un volumen interior de $= 0.49 \text{ m}^3$

2.4.1.3 Propiedades del aislamiento térmico

Cuando más alta es la temperatura de la cámara, tanto mayor es el valor correspondiente a las pérdidas de calor en las paredes, para evitarnos en algo este problema se utilizan aislantes con coeficientes de conductividad muy bajos.

En nuestro caso no necesitamos una cara de revestimiento aislante en la cámara, puesto que la temperatura de trabajo no es muy elevada, basándonos en esta característica del horno, se determina la naturaleza del material a emplear como aislante térmico. Esta temperatura de trabajo de horno, precisa un material aislante inorgánico.

Utilizaremos como aislamiento térmico la lana mineral.

Las propiedades del aislamiento térmico son:

- | | |
|----------------------------------|----------------------|
| ➤ Temperatura máxima de servicio | hasta los 700 °C |
| ➤ Conductividad térmica (k) | 0.040 Kcal/hr*m*°C |
| ➤ Densidad | 40 Kg/m ³ |
| ➤ Calor específico (Cp) | 0.201Kcal/kg*°C |

2.4.1.4 Clase, dimensiones y peso de la carga

El material utilizado como carga es el cobre cuyas características son:

- | | |
|----------------------------------|-------------------------|
| ➤ Calor específico a 200 °C | 0.092 Kcal/kg*°C |
| ➤ Conductividad térmica a 200 °C | 321.79 Kcal/hr*m*°C |
| ➤ Densidad | 8.954 kg/m ³ |
| ➤ Emisividad | 0.015 |

➤ Dimensiones de la carga:

La carga tiene forma cilíndrica

Dimensiones: Altura: 250 mm; radio: 90mm.

➤ Peso de la carga 20 Kg

2.5 CÁLCULO DE LA CANTIDAD TOTAL DE CALOR SUMINISTRADO POR EL SISTEMA

El cálculo de la cantidad total suministrada al sistema en un horno, será igual a: la cantidad de calor necesario para el calentamiento de la carga (calor absorbido por la carga, determinada por unidad de tiempo), más las pérdidas producidas durante el tiempo de operación de dicho horno, es decir:

$$Q_s = Q_p + Q_c$$

Donde:

Q_s = calor suministrado por el sistema.

Q_p = pérdidas de calor.

Q_c = calor absorbido por la carga.

Las pérdidas de calor se producen por acumulación de calor en las paredes del horno, debido a la conducción; las pérdidas de calor se producen también por la radiación y convección desde la superficie exterior del horno al ambiente, entonces tenemos:

$$Q_p = Q_k + Q_{cv} + Q_r$$

Donde:

Q_p = pérdidas de calor

Q_k = pérdidas por acumulación de calor en las paredes, por conducción

Q_{cv} = pérdidas por convección desde la parte exterior del horno.

Q_r = pérdidas por radiación desde la parte exterior del horno.

2.5.1 CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS DE CALOR EN LAS PAREDES DEBIDO A LA CONDUCCIÓN

El calor que se desarrolla dentro del horno, se comunica en parte a sus paredes, cuya diferencia de temperatura entre la cara interna y la exterior mide el calor acumulado por la cámara.

La acumulación de calor en las paredes, obligara a un consumo mayor de energía, conviene estimar estas pérdidas para un buen diseño. En condiciones de un correcto aislamiento, las pérdidas de calor estarán dentro de un margen muy pequeño y por lo tanto se tendrá un menor consumo de energía.

2.5.1.1 Cálculo del espesor de las paredes

Las paredes de la cámara de calefacción del horno están formadas por dos capas del mismo aislamiento térmico.

Para realizar el cálculo del espesor de las paredes, se hará por tanto, asumiendo espesores y la temperatura exterior de la pared, ya que la temperatura interior de la pared de la cámara es igual a 200 C°.

En un proyecto de aislamiento, se procede por tanteo partiendo de una temperatura de caldería exterior y calculando las pérdidas de calor. Se supone que el contacto térmico entre las superficies es ideal, como se muestra en la figura 2.4.

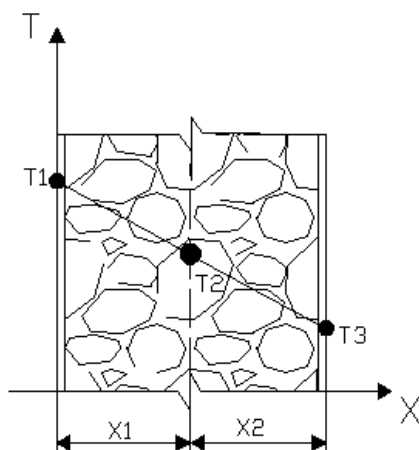


Figura 2.4 Grafico esquemático para el cálculo del espesor de las paredes

Por otra parte, el flujo calorífico es inversamente proporcional al espesor de la pared.

Siendo el régimen permanente, la densidad del flujo calorífico es constante e igual para todas las capas; por lo tanto se tiene:

$$\text{Flujo calorífico} \quad q = \frac{T_1 - T_3}{\frac{x_1}{k_1} + \frac{x_2}{k_1}}$$

Donde:

q = flujo calorífico

T_1 = temperatura en el interior de la cámara (200 C°).

T_3 = temperatura en la pared exterior del horno (40 C°).

x_1 = espesor de la pared (asumida) 0.025 m.

x_2 = espesor de la pared (asumida) 0.025 m.

k_1 = conductividad térmica del material usado como aislante térmico (0.040Kcal/h*m°C)

Entonces reemplazando valores tenemos:

$$q = \frac{200^{\circ}C - 40^{\circ}C}{\frac{0.025m}{0.040Kcal/h * m^{*}C} + \frac{0.025m}{0.040kcal/h * m^{*}C}} = 128(Kcal/h * m^2)$$

$$q = \frac{T1 - T2}{\frac{x1}{k1}} \longrightarrow T1 - T2 = q * \frac{x1}{k1}$$

$$T1 - T2 = 128 * \frac{0.025}{0.040}$$

$$T1 - T2 = 128(0.625) = 80^{\circ}C$$

$$T2 = T1 - 80 = 200^{\circ}C - 80^{\circ}C$$

$$\underline{\underline{T2 = 120^{\circ}C}}$$

$$T2 - T3 = q * \frac{x2}{k1}$$

$$T2 - T3 = 128 * \frac{0.025}{0.040} =$$

$$T2 - T3 = 80^{\circ}C$$

$$T3 = T2 - 80^{\circ}C$$

$$T3 = 120 - 80 = 40^{\circ}C$$

Si aumentamos espesores en las paredes, observamos lo que sucede.

x1 = espesor de la pared (asumida) 0.045 m.

x2 = espesor de la pared (asumida) 0.025 m.

Reemplazando los valores en la ecuación tenemos:

$$q = \frac{200^{\circ}C - 40^{\circ}C}{\frac{0.045m}{0.040Kcal/h * m^{*}C} + \frac{0.025m}{0.040Kcal/h * m^{*}C}} = 91.43(Kcal/h * m^2)$$

$$q = 91.43(Kcal/h * m^2)$$

$$T1 - T2 = q * \frac{x1}{k1} = 91.43 * \frac{0.045}{0.040} = 102.86^{\circ}C$$

$$T2 = T1 - 102.86^{\circ}C$$

$$T2 = 200 - 102.86^{\circ}C$$

$$\underline{\underline{T2 = 97.14^{\circ}C}}$$

$$T2 - T3 = q * \frac{x2}{k1} = 91.43 * \frac{0.025}{0.040} = 57.14^{\circ}C$$

$$T3 = T2 - 57.14^{\circ}C$$

$$T3 = 97.14^{\circ}C - 57.14^{\circ}C$$

$$T3 = 40^{\circ}C$$

Si se compara la temperatura T2 en los dos casos, se nota que no existe un cambio substancial en los valores de temperatura, pese que se aumento el espesor de las paredes.

Razón por la cual se escogerá los espesores del inicio es decir: $x1=0.025m$; $x2=0.025m$, a demás que implica una disminución en la compra del material aislante, la cual reduce costos de fabricación.

2.5.1.2 Cálculo de las pérdidas de calor por conducción

Se calcula las pérdidas por acumulación de calor debido a la conducción del calor mediante:

$$Qk = m * Cp * \Delta T$$

Donde:

Qk = calor acumulado debido a la conducción (Kcal).

m = masa del cuerpo que acumula el calor (43.4Kg material aislante).

Cp = Calor específico del cuerpo (K cal / Kg °C material aislante).

ΔT = Variación de la temperatura del cuerpo (°C).

$$Qk = m * Cp * \Delta T$$

$$Qk = 43.4 * 0.201 * (200 - 40) = 1395.74 Kcal.$$

La acumulación de calor en las paredes de la cámara para un ciclo de funcionamiento real en un tiempo de $t = 4$ h es:

Si 1 Kcal/h = 1.163 Watts.

$$Qk = 348.94 Kcal / h = 405.82 W$$

2.5.2 CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS DE CALOR POR CONVECCIÓN Y RADIACIÓN

2.5.2.1 Pérdidas de calor por convección libre o natural

En la convección libre o natural, la velocidad de fluido en puntos alejados de la superficie del cuerpo es esencialmente nula.

En las cercanías del cuerpo se registra un cierto movimiento del aire, si la temperatura del cuerpo es distinta a la del aire. En este caso serán diferentes las densidades del aire que se encuentran cerca de la superficie, y del que se

encuentra alejado de esta; esta diferencia de densidad dará lugar a una fuerza de empuje o flotación (según la superficie este más caliente o más fría que el aire) sobre el fluido que se encuentra cerca de la superficie. Esta fuerza se traduce en un movimiento del aire, substancialmente en dirección vertical, a lo largo de la superficie, con la consiguiente transmisión de calor por convección.

El proceso de convección libre esta en función de tres parámetros adimensionales Nu,Pr,Gr; como se desea calcular el coeficiente de película convectivo (hc), relacionado con $Nu = \frac{hc * Lc}{K}$, el proceso de convección libre es:

$$Nu = F(Gr, Pr)$$

$$Gr = (\Delta T * \beta) * \frac{L^3 * \rho^2 * g}{\mu^2}$$

$$Pr = \frac{\mu * Cp}{K}$$

Donde:

Nu = numero de nusselt.....adimensional.

Gr = Numero de grashof.....adimensional.

Pr = numero de prandt.....adimensional.

hc = coeficiente de película convectivo

β = coeficiente de dilatación del aire..... $\beta = \frac{1}{288^\circ K}$

En la convección libre es costumbre calcular las propiedades de fluido (aire) a la temperatura media de película.

$$T_m = \frac{T_s + T_f}{2}$$

Donde:

T_m = temperatura media.

T_s = temperatura de la superficie.

$T_f = T_a$ = temperatura del fluido (aire).

➤ Para superficies planas horizontales

- Para placas calientes dirigidas hacia arriba.

Régimen laminar: $10^5 < Gr \cdot Pr < 2 \times 10^7$

$$Nu = 0.54 \cdot (Gr \cdot Pr)^{1/4}$$

Régimen turbulento: $2 \times 10^7 < Gr \cdot Pr < 3 \times 10^{10}$

$$Nu = 0.14 \cdot (Gr \cdot Pr)^{1/3}$$

Se procede a calcular el coeficiente de película convectivo (h_c).

La temperatura de la superficie exterior del horno se ha considerado 40 °C, luego de 4 horas de trabajo.

$$T_s = 40^\circ C$$

$$T_{aire} = 15^\circ C$$

$$T_m = \frac{T_s + T_a}{2} = \frac{40 + 15}{2} = 27.5^\circ C$$

Las propiedades del aire a presión atmosférica y para $t_m = 27.5^\circ C$, son:

Pr. = Numero de prandt.....0.72

ΔT = diferencia temperatura (superficie aire)..... $25^\circ C = 298^\circ K$

β = coeficiente de dilatación del aire..... $\beta = \frac{1}{288^\circ K}$

L_c = longitud característica.....0.80 m
 δ = densidad del aire.....1.093 Kg/m³
 g = gravedad.....9.8 m/s²
 μ = viscosidad del aire.....0.1 Kg/h*m
 k = conductividad del aire.....0.0243 Kcal/h*m*°C

$$Gr = (\Delta T * \beta) * \frac{L_c^3 * \rho * g}{\mu^2}$$

$$Gr = \left(\frac{298}{288}\right) * \frac{0.8^3 * 1.093^2 * 9.8}{0.1^2} * 3600^2 = 8.03 \times 10^9$$

$$Gr = 8.03 \times 10^9$$

$$Pr = 0.72$$

$$Gr * Pr = 8.03 \times 10^9 * 0.72 = 5.78 \times 10^9$$

Por lo tanto el régimen es turbulento.

Si el régimen es turbulento el Nu es:

$$Nu = 0.14 (Gr * Pr)^{1/3}$$

$$Nu = 0.14(5.78 \times 10^9)^{1/3} = 251.25$$

Despejando y reemplazando tenemos:

$$Nu = \frac{hc * L_c}{K}$$

$$hc = Nu \frac{K}{L_c} \text{ Coeficiente de película convectivo.}$$

$$hc = \frac{251.25 * 0.0243}{0.8} = 7.63 \text{ kcal / h * m}^2 * ^\circ\text{C}$$

Entonces las pérdidas de calor por convección será:

$$Q_c = hc * A * \Delta T (\text{Kcal / h})$$

Donde:

hc = coeficiente de película convectivo. 7.63 Kcal/h*m²*°C

A = superficie exterior horizontal 0.64 m²

ΔT = diferencia de temperatura (superficie-aire) 25 °C

- Para superficie horizontal superior:

$$Q_{c_s} = hc * A * \Delta T = 7.63 * 0.64 * 25 = 122.08 (\text{Kcal / h})$$

- Para superficie horizontal inferior (convección dificultada); se considera el 50 % menos que la superior.

Entonces:

$$Q_{c_i} = 61.04 \text{ Kcal/h}$$

- Para superficie verticales, se considera el coeficiente convectivo hc un 35 % inferior que para superficies horizontales encaradas hacia arriba; por tanto:

$$Q_{c_v} = 0.65hc * A * \Delta T (\text{Kcal / h}) * 4 \text{ aéreas verticales.}$$

$$Q_{c_v} = 0.65(7.63) * 3.85 * 25 = 476.112 (\text{Kcal / h})$$

Las pérdidas por convección son:

$$Q_{cv} = Q_{cs} + Q_{ci} + Q_{cv}$$

$$Q_{cv} = 122.08 + 61.04 + 476.112$$

$$Q_{cv} = 659.232 \text{ Kcal/h.}$$

2.5.3 PÉRDIDAS DE CALOR POR RADIACIÓN

Las superficies emiten y absorben energía radiante con diferente intensidad; la mayor parte de cuerpos sólidos son opacos; la cantidad de calor transmitida por radiación para estos cuerpos viene dado por:

$$Q_r = \varepsilon * \sigma * A * (T_s^4 - T_a^4) \text{ Kcal/h}$$

Donde:

Q_r = calor transmitido por radiación (Kcal/h)

ε = emisividad de la superficie emisora (0.9)

σ = constante universal ($4.965 \times 10^{-8} \text{ Kcal/h} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K}$)

A = área de superficie emisora (5.12 m^2)

T_s = temperatura de superficie emisora ($40^\circ\text{C} = 313\text{K}$)

T_a = temperatura ambiente ($15^\circ\text{C} = 288\text{K}$)

Reemplazando tenemos:

$$Q_r = 0.9 * 4.965 \times 10^{-8} * 5.12 * (313^4 - 288^4) \text{ Kcal/h}$$

$$Q_r = 621.89 \text{ Kcal/h}$$

Pérdidas totales de calor:

$$Q_p = Q_k + Q_{cv} + Q_r$$

$$Q_p = 348.94 + 659.232 + 621.89$$

$$Q_p = 1630.06 \text{ Kcal/h} = 1895.76 \text{ W.}$$

2.6 CÁLCULO DE LA CANTIDAD DE CALOR APORTADO A LA CARGA

La posición de la carga en el interior del horno se ha provisto de tal manera que el flujo de calor producido por la radiación de sus paredes sea uniforme, como se muestra en la figura 2.5.

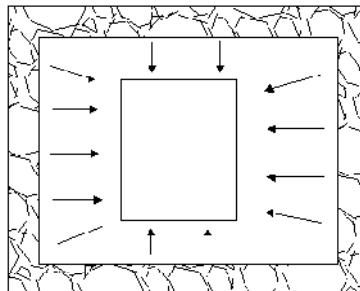


Figura 2.5 Disposición de la carga en el interior de la cámara

2.6.1 TRANSMISIÓN DE CALOR A LA CARGA

En esta transmisión de calor, la superficie interior de la cámara envuelve completamente a la superficie de la carga; a demás las dos superficies que intercambia calor son superficies grises, para este caso el intercambio neto de energía radiante, está dada por:

$$Q_{pc} = \sigma * A_p * F_{p-c} (T_p^4 - T_c^4)$$

Donde:

Q_{pc} = flujo neto de calor por radiación entre pared carga.

F_{p-c} = factor de forma, cuantifica la cantidad de energía radiante, que partiendo de las paredes interiores de la cámara incide sobre la carga.

T_p = temperatura de pared de la carga.

T_c = temperatura de la carga. (Variable con el tiempo).

Para la superficie gris que envuelve completamente a otra, el factor de forma esta dado por:

$$F_{p-c} = \frac{1}{\left(\frac{1}{\epsilon_c}\right)\left(\frac{A_p}{A_c}\right) + \left(\frac{1}{\epsilon_p}\right)}$$

Donde:

F_{p-c} = factor de forma (pared-carga).

A_p = superficie de pared cubierta por los elementos de resistencias igual a $\frac{3}{4}$ de la superficie interior de la cámara. (2.83 m²).

A_c = superficie de la carga 0.141 m²

ϵ_p = emisividad de la pared 0.9

ϵ_c = emisividad de la carga (cobre) 0.78

$$F_{p-c} = \frac{1}{\left(\frac{1}{0.78}\right)\left(\frac{2.83}{0.141}\right) + \left(\frac{1}{0.9}\right)}$$

$$F_{p-c} = 0.04$$

2.6.2 CÁLCULO DEL TIEMPO DURANTE EL CUAL LA CARGA LLEGA A LA TEMPERATURA DE 200 °C

El balance energético llevara a predecir el cálculo de calentamiento de la carga. La energía radiante de las paredes internas de la cámara que llega a la carga, provocará un cambio de energía interna, la que se verá reflejada en el aumento de su temperatura.

El balance energético quedara establecido de esta manera:

$$Q_{pc} = Q`c$$

Donde:

Q_{pc} = flujo de calor por radiación entre pared-carga.

$Q`c$ = calor absorbido por la carga.

$$\sigma * A_p * F_{p-c} (T_p^4 - T^4) = mc * C_{pc} * \frac{dT}{dt}$$

Resolvemos la ecuación diferencial y se tendrá el tiempo:

$$\frac{\sigma * A_p * F_{p-c} * T_p^4}{mc * C_{pc}} - \frac{\sigma * A_p * F_{p-c} * T^4}{mc * C_{pc}} = \frac{dT}{dt}$$

llamando :

$$K_2 = \frac{\sigma * A_p * F_{p-c} * T_p^4}{mc * C_{pc}}; K_1 = \frac{\sigma * A_p * F_{p-c}}{mc * C_{pc}}$$

$$K_2 - K_1 T^4 = \frac{dT}{dt}; \int_0^t dt = \int_{T_0}^{T_f} \frac{dT}{K_2 - K_1 T^4}$$

Resolviendo la ecuación diferencial e integrando tenemos:

$$t = \frac{1}{4K_1^{1/4} * K_2^{3/4}} \left[\ln\left(1 + \frac{T_c}{T_p}\right) - \ln\left(1 - \frac{T_c}{T_p}\right) + \frac{2\pi}{180} * tg^{-1}\left(\frac{T_c}{T_p}\right) \right]_{T_o}^{T_f}$$

Donde:

σ = constante universal.	4.965 Kcal/h*m ² °K
mc = masa de la carga.	20 Kg.
Cpc = calor específico de la carga.	0.092 Kcal/Kg*°C
To = temperatura inicial de la carga.	15°C = 288 °K
Tf = temperatura final de la carga.	200 °C= 473 °K
Tp = temperatura de la pared.	250°C =523 °K
Tc = temperatura de la carga (variable con el tiempo).	

Reemplazando valores se tiene:

$$K_1 = \frac{4.965 \times 10^{-8} * 283 * 0.04}{20 * 0.092} = 3.05 \times 10^{-9} \frac{1}{h * ^\circ K^3}$$

$$K_2 = \frac{4.965 \times 10^{-8} * 2.83 * 0.04 * (473)^4}{20 * 0.092} = 152.89 \frac{^\circ K}{h}$$

$$t = \frac{1}{4(3.05 \times 10^{-9})^{1/4} * (152.89)^{3/4}} \left\{ \left[\ln\left(1 + \frac{473}{523}\right) - \ln\left(1 - \frac{473}{523}\right) + 0.035 * tg^{-1}\left(\frac{473}{523}\right) \right] - \right.$$

$$\left. \left[\ln\left(1 + \frac{288}{523}\right) - \ln\left(1 - \frac{288}{523}\right) + 0.035 * tg^{-1}\left(\frac{288}{523}\right) \right] \right\}$$

$$t = 0.7h \left[[0.64 - (-2.34) + 1.47] - [0.43 - (-0.79) + 1] \right]$$

$$t = 0.7h(4.45 - 2.22)$$

$$t = 1.56h.$$

t = 1 hora 33 minutos; tiempo durante el cual la carga llega a la temperatura final de 200 °C.

La cantidad de calor absorbida por la carga es:

$$Q'c = mc \cdot C_{pc} \cdot \Delta T$$

$$Q'c = 20 \cdot 0.092 \cdot 185 = 340.4 \text{ Kcal.}$$

$$Q'c / t = \frac{340.4 \text{ Kcal}}{1.56h} = 218.2 \text{ Kcal / h} \quad \text{CALOR SUMINISTRADO.}$$

2.7 CALOR TOTAL SUMINISTRADO POR EL SISTEMA

Una vez que se conocen el valor de las pérdidas de calor en un ciclo de funcionamiento, y la cantidad de calor absorbido por la carga, durante el periodo de calentamiento; el calor suministrado por el sistema será:

$$Q_s = Q_p + Q'c$$

$$Q_s = (1630.06 + 218.2) \text{ Kcal/h}$$

$$Q_s = 1848.26 \text{ Kcal/h.}$$

Como sabemos que:

$$1 \text{ Kcal / h} = 1.163 \text{ watts.}$$

Por tanto:

$$1848.26 \text{ Kcal/h} = 2149.5 \text{ watts, si aproximamos seria 2200 Watts.}$$

La potencia del horno es igual a 2.2 Kw.

2.8 RENDIMIENTOS TÉRMICOS

2.8.1 RENDIMIENTO TÉRMICO DE CONVERSIÓN

El rendimiento en un sistema de calefacción esta dado por la relación entre el calor absorbido por la carga, para una determinada elevación de temperatura y el correspondiente calor suministrado por el sistema.

$$N_{tc} = \frac{Q_c}{Q_s} = \frac{218.2}{1848.26} = 12\%$$

2.8.2 RENDIMIENTO TÉRMICO NETO DE OPERACIÓN

Es la relación existente entre el peso de la carga expresado en Kilogramos (Kg.) y la correspondiente cantidad de calor suministrado al sistema para una determinada elevación de temperatura expresado en Kw. – h.

$$N_{to} = \frac{\text{peso} - \text{carga}}{Kw - h} = \frac{20Kg.}{2.2} = 9.1Kg / Kw - h$$

2.9 CÁLCULO DE LOS ELEMENTOS DE RESISTENCIA

El calentamiento por resistencia se basa en el efecto joule, donde la potencia eléctrica absorbida por los elementos (Kw), es disipada en forma de calor (Kcal/h) hacia el medio (cámara).

2.9.1 FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL CÁLCULO DE LA RESISTENCIA

Dentro el cálculo de las resistencias para el horno, intervienen varios factores importantes:

- Potencia del horno
- Tensión disponible en la red
- Temperatura de los elementos
- Carga específica
- Coeficiente de resistividad
- Elementos de resistencia y duración de los elementos.
- Conexión eléctrica.

2.9.1.1 Potencia del horno

El cálculo de la potencia del horno se la obtiene en base a la cantidad de calor necesaria para calentar dicha carga, en un determinado tiempo, más el cálculo de las pérdidas de calor que existen en el sistema.

La potencia determinada para calentar dicha carga es de 2.2 Kw.

2.9.1.2 Tensión disponible en la red

La tensión disponible comúnmente en la red local es de 220V trifásica ó 110V monofásica, para la cual la mayor parte de hornos están dispuestos o diseñados para este tipo de tensión, utilizaremos 220V.

2.9.1.3 Temperatura de los elementos

En el momento de calcular los elementos de resistencia se deberá tener muy en cuenta la temperatura de trabajo apropiada de los elementos, además de la sección de los mismos, ya que estos tienen una gran influencia en la duración de dichos elementos. En nuestro caso la temperatura de trabajo es de 200°C y la aleación Fe-Cr-Al (kanthal) será la adecuada para ser utilizada como elemento de resistencia.

2.9.1.4 Carga específica ($p=W/cm^2$)

La carga específica es lo primero que se debe tener en cuenta en el cálculo de los elementos de resistencia. En una resistencia de determinada forma y dimensión, la temperatura de trabajo varía con los watts absorbidos, ya que el área de la superficie permanece constante. Para nuestro diseño tenemos una carga específica de 5 (W/cm^2) obtenida de la figura 1.24 del capítulo 1.

2.9.1.5 Coeficiente de resistividad (Ct)

El coeficiente de resistividad determina la variación de la resistencia del elemento (Ohmios) en función de la temperatura. Se tiene un coeficiente de resistividad para 200 °C de 1.01 obtenido de la tabla 1.11 del capítulo 1.

Si se requiere calcular el valor de resistencia del elemento a la temperatura de trabajo, se multiplicara el valor de la resistencia en frío (20 °C) por el coeficiente de resistividad (Ct)

$$R_c = R_f \cdot C_t$$

Donde:

R_c = Resistencia en caliente

R_f = Resistencia en frío (20°C)

C_t = coeficiente de resistividad

2.9.1.6 Elementos de resistencia

Estos elementos son arrollados en espiral, como se puede ver en la figura 2.6, con esto parte del calor radiado se refleja dentro de la hélice.

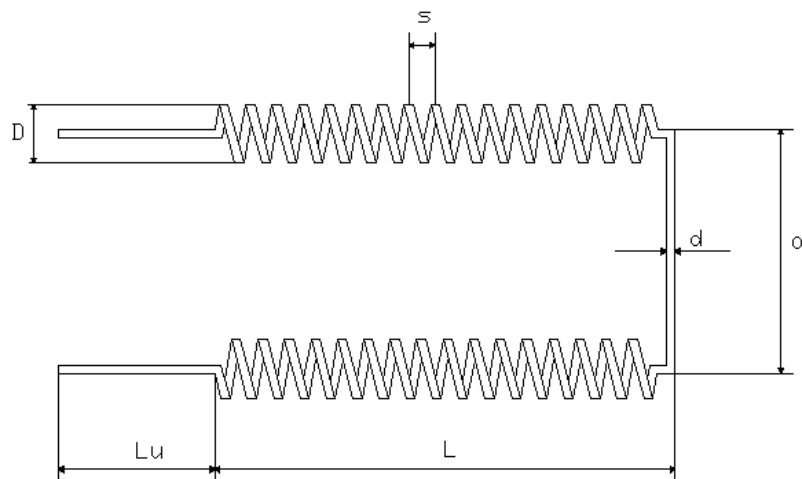


Figura 2.6 Forma de los elementos de resistencia

Donde:

S = paso del arrollamiento (mm)

D = diámetro de la hélice (mm)

d = diámetro del hilo (mm)

a = distancia eje-brazos (mm)

L = longitud del elemento (mm)

Lu = longitud de los terminales (mm)

Los elementos de resistencias fallan normalmente por pérdidas de sección debidas a la oxidación en sus terminales de conexión, volatilización o estiramiento.

La resistencia mecánica de todos los materiales metálicos resistentes a altas temperaturas disminuye al aumentar la temperatura.

Dependiendo la duración también de la sección del material de la resistencia, es preciso elegir el diámetro del hilo (d) no demasiados pequeños. Esto hay que tener en cuenta sobre todo para temperaturas de trabajo elevadas.

2.9.1.7 Conexiones eléctricas

La fuente de alimentación eléctrica utilizada es trifásica. La potencia de la resistencia está dada por la expresión:

$$PT = \sqrt{3} * VL * IL * Cos \emptyset$$

Donde:

PT = potencia total

VL = voltaje de línea

IL = corriente de línea

Cos \emptyset = factor de potencia

La conexión de las resistencias esta es triangulo (delta), como es una carga equilibrada y puramente resistiva el $\text{Cos } \phi = 1$.

El circuito consta de 2 resistencias iguales en paralelo por fase como se indica en la figura 2.7.

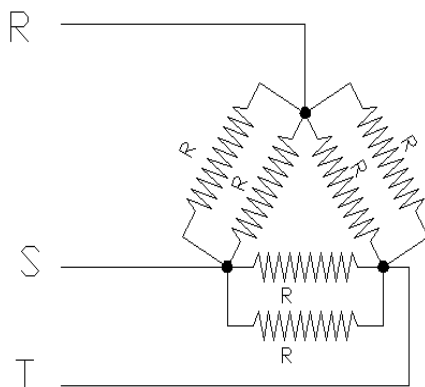


Figura 2.7 Carga resistiva en delta doble paralelo

$$V_L = V_F$$

$$I_L = \sqrt{3} * I_F$$

$$P_F = V_L * I_F$$

$$P_T = \sqrt{3} * I_L * I_F$$

$$P_T = 3 * P_F$$

Donde:

V_L = Voltaje de línea

V_F = Voltaje de fase

I_L = Corriente de línea (A)

I_F = Corriente de fase (A)

P_T = Potencia total

P_F = Potencia de fase

R = Resistencia del elemento

Para nuestro caso tenemos:

$$\text{Potencia del horno} = 2200 \text{ W}$$

$$\text{Tensión} = 220 \text{ V}$$

$$\text{Temperatura de trabajo} = 200^\circ\text{C}$$

$$PF = \frac{PT}{3} = \frac{2200}{3} = 733.3 \text{ W}$$

$$IF = \frac{PF}{VL} = \frac{733.3}{220} = 3.33 \text{ A}$$

$$IL = \sqrt{3} * IF = \sqrt{3} * 3.33 = 5.76 \text{ A}$$

$$PT = 3Req * IF^2$$

$$Req = \frac{PT}{3IF^2} = \frac{2200}{3 * 3.33^2} = 66.1 \Omega$$

$$R = 2Req$$

$$R = 2 * 66.1 = 132.2 \Omega$$

2.9.2 CÁLCULO NUMÉRICO DE LOS ELEMENTOS DE RESISTENCIA

Con lo expuesto anteriormente se calcula los parámetros que determinan los elementos de resistencia.

2.9.2.1 Cálculo del diámetro de hilo (d)

Para el cálculo del diámetro del hilo de la resistencia tenemos la siguiente fórmula:

$$d = 0.74 * \sqrt[3]{\left(\frac{P}{V}\right)^2 * \frac{\rho * Ct}{p}} \quad \text{cm.}$$

Donde:

d = diámetro del hilo..... (cm.)
 P = potencia de entrada a los elementos.....(W)
 ρ = Resistividad..... ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)
 p = Carga específica.....(W/cm^2)
 Rt = Resistencia del elemento..... Ω
 V = Caída de tensión.....Voltios
 Ct = Coeficiente de resistividad (Factor de temperatura)

2.9.2.2 Método rápido para el cálculo del diámetro del hilo de resistencia

Este método rápido hace uso de tablas, se utiliza la relación $Ac/R20$ (cm^2/Ω), y se compara este valor dado en las tablas de los elementos kanthal.

$$\text{cm}^2/\Omega = \frac{I^2 * Ct}{p} = \frac{P * Ct}{p * Rt} = \frac{P^2 * Ct}{V^2 * p}$$

Para calcular el diámetro del elemento mediante este método utilizaremos los siguientes datos:

Potencia del horno = 2200 W

Tensión = 220 V

Temperatura de trabajo = 200°C

Factor de temperatura Ct, para T = 200°C, tenemos un valor de 1.01

Carga específica (p) = 5 W/cm².

Resistividad eléctrica (ρ) = 139 $\mu\Omega/\text{cm}$ = $1.39 \cdot 10^{-4}$ Ω/cm .

Entonces tenemos:

$$\text{cm}^2/\Omega = \frac{P^2 * Ct}{V^2 * p} = \frac{2200^2 * 1.01}{220^2 * 5} = 20.2$$

valor calculado

Con este valor vamos a la tabla del **anexo 5**, observamos que corresponde un diámetro $d = 1.1 \text{ mm}$ (diámetro de hilo), cuya resistencia por unidad de longitud es $1.53 \Omega/\text{m}$.

2.9.2.3 Datos por elemento

- Resistencia en caliente (R_c)

$$R_c = R = 132.2 \Omega$$

- Resistencia en frío ($R_{20^\circ\text{C}}$)

$$R_{20^\circ\text{C}} = \frac{R_c}{C_t} = \frac{132.2}{1.01} = 130.89 \Omega$$

- Longitud radiante de hilo (L)

$$L = \frac{P}{\pi * d * p} = \frac{2200}{3.1416 * 0.11 * 5} = 12732 \approx 1300 \text{ cm}$$

$$L = 13 \text{ m}$$

- Diámetro de la espiral (D)

Para hornos industriales, la temperatura de los elementos menores a 1000°C , se tiene: $D/d = 6 - 8$

$$D/d = 6 \text{ esto implica } D = 6d = 6 * (1.1) = 6.6 \text{ mm} - 7 \text{ mm}$$

- Número de espiras (n)

$$n = \frac{1000 * L}{\pi * (D - d)} = \frac{1000 * 13}{3.14 * (6 - 1.1)} = 845 \text{ Espiras}$$

- Longitud de la espira comprimida (L_w)

$$L_w = n * d = 845 * 1.1 = 930 \text{ mm.}$$

- Paso de arrollamiento (s)

Se tratara de obtener la distancia más larga entre las espiras vecinas, para que sea menor la radiación recíproca.

Los valores recomendados para el paso son: $s/d = 2 - 4$

Se escoge 4.

$s/d = 4$ Implica que $s = 4 * d; s = 4 * 1.1 = 4.4 \text{ mm.}$

- Longitud de la espira extendida (L)

$$L = s * n$$

$$L = 4.4 * 845 = 3718 \text{ mm.}$$

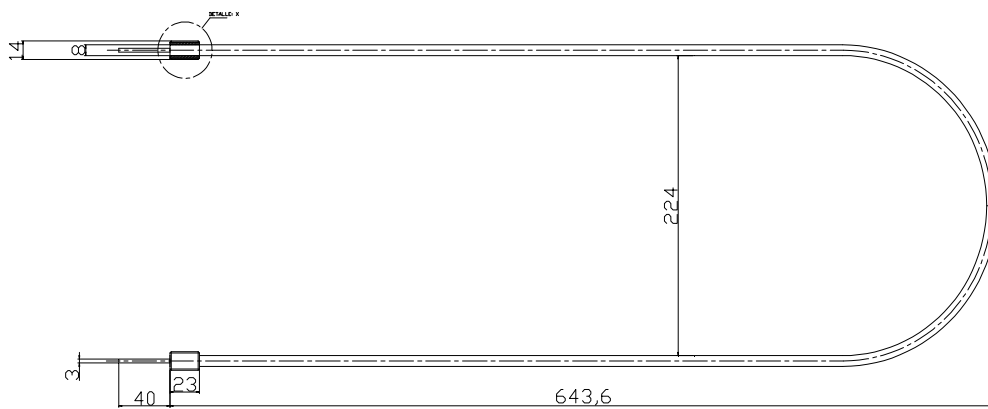
2.9.2.4 Forma del elemento de resistencia

En la figura 2.7 se puede observar el elemento de resistencia esquemáticamente donde la resistencia esta embebida en la masa refractaria de magnesia electrofundida dentro de una funda metálica.

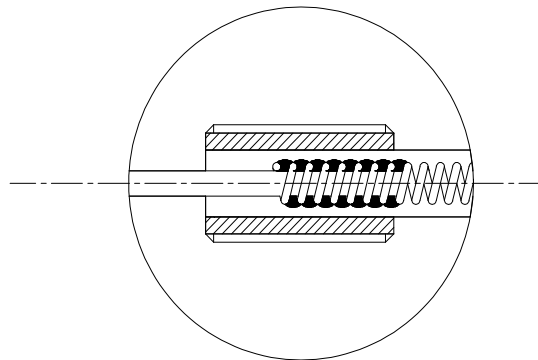


Figura 2.7 Esquema de la resistencia blindada

Finalmente en la figura 2.8 tenemos el elemento de resistencia con sus respectivas mediciones y forma que serán utilizados en el horno.



a) Elemento de resistencia



b) detalle del terminal de conexión

Figura 2.8 Esquema grafico del elemento de resistencia. a) Elemento de resistencia b) detalle del terminal de conexión

2.10 CÁLCULO DE LOS ELEMENTOS UTILIZADOS PARA EL CONTROL DE TEMPERATURA

2.10.1 DISEÑO GENERAL

En el equipo de regulación de temperatura se distinguen tres elementos fundamentales:

- El aparato de medición y control, el cual envía una señal de actuación.
- El detector propiamente dicho (termopar)
- El órgano regulador, el cual recibe la señal del anterior y actúa, sobre la entrada de corriente en los hornos calentados eléctricamente.

2.10.2 ÓRGANO DE MEDICIÓN Y CONTROL XMTG

En este caso se ha escogido un aparato de medición que cae en el grupo de los de amplificación electrónica.

Se trata de un controlador de temperatura analógico XMTG, los detalles de funcionamiento y conexión de este controlador se encuentran en el **anexo 6**.

2.10.2.1 Dimensionamiento de la termocupla

El dimensionamiento de la termocupla se lo hace mediante recomendaciones técnicas que vienen dadas por el órgano controlador de temperatura, el cual nos recomienda utilizar una termocupla tipo J para la entrada de la señal, el valor de milivoltaje generado por la termocupla esta dentro de un rango de 4mV a 20 mV.

Existe un método teórico para la verificación de este criterio el cual es:

$$mV = \left(\frac{A - B}{A - C} \right) * (z - x) + x$$

Donde:

mV = milivoltaje que debe generar la termocupla, a cierta temperatura.

A = valor referencial (20°F).

B = Valor que se tiene de dato de la temperatura utilizada. (400°F).

C = Valor referencial (30°F).

x = Valor referencial de milivoltaje generado por A (-0.039).

z = Valor referencial de milivoltaje generado por B (-0.07).

Con los anteriores datos procedemos a calcular el milivoltaje que debe generar la termocupla a una temperatura de 400 °F:

$$mV = \left(\frac{20 - 400}{20 - 30} \right) * (-0.07 - (-0.039)) + (-0.039) = 11.77mV$$

Con este valor calculado y el valor de temperatura (400 °F) acudimos a la tabla 2.5 en la cual buscaremos estos valores o los más aproximados, los cuales definirán el tipo la termocupla que necesitamos.

ABSOLUTE MILLIVOLTS FOR DEGREES CENTIGRADE					TEMPERATURE			ABSOLUTE MILLIVOLTS FOR DEGREES FAHRENHEIT				
J	K	R	S	T	Degrees Fahrenheit	KEY	Degrees Centigrade	T	S	R	K	J
12.23	9.18	1.697	1.659	10.689	438.80	226	107.78	4.643	0.700	0.704	4.42	5.69
12.28	9.22	1.706	1.667	10.744	440.60	227	108.34	4.670	0.705	0.708	4.44	5.72
12.34	9.26	1.715	1.676	10.799	442.40	228	108.89	4.696	0.709	0.712	4.47	5.75
12.39	9.30	1.725	1.685	10.854	444.20	229	109.44	4.722	0.713	0.716	4.49	5.78
12.45	9.34	1.734	1.693	10.909	446.00	230	110.00	4.749	0.717	0.721	4.51	5.81
12.50	9.38	1.743	1.702	10.963	447.80	231	110.56	4.775	0.721	0.725	4.54	5.84
12.56	9.42	1.752	1.710	11.018	449.60	232	111.11	4.801	0.725	0.729	4.56	5.87
12.62	9.46	1.761	1.719	11.073	451.40	233	111.66	4.827	0.729	0.734	4.58	5.90
12.67	9.50	1.770	1.728	11.128	453.20	234	112.22	4.854	0.734	0.738	4.61	5.93
12.73	9.54	1.779	1.736	11.183	455.00	235	112.78	4.880	0.738	0.742	4.63	5.96
12.78	9.59	1.788	1.745	11.238	456.80	236	113.33	4.907	0.742	0.746	4.65	5.99
12.84	9.63	1.798	1.754	11.293	458.60	237	113.88	4.934	0.746	0.750	4.67	6.02
12.89	9.67	1.807	1.763	11.348	460.40	238	114.44	4.960	0.750	0.755	4.70	6.05
12.95	9.71	1.816	1.771	11.403	462.20	239	115.00	4.987	0.754	0.759	4.72	6.08
13.01	9.75	1.826	1.780	11.459	464.00	240	115.56	5.014	0.758	0.763	4.74	6.11
13.06	9.79	1.835	1.789	11.514	465.80	241	116.12	5.040	0.763	0.767	4.77	6.14
13.12	9.83	1.844	1.798	11.569	467.60	242	116.67	5.067	0.767	0.772	4.79	6.17
13.17	9.87	1.853	1.806	11.624	469.40	243	117.24	5.094	0.771	0.776	4.81	6.20
13.23	9.91	1.863	1.815	11.680	471.20	244	117.78	5.120	0.775	0.780	4.83	6.24
13.28	9.95	1.872	1.824	11.735	473.00	245	118.34	5.147	0.779	0.785	4.86	6.27
13.34	9.99	1.881	1.833	11.791	474.80	246	118.89	5.174	0.784	0.789	4.88	6.30
13.40	10.03	1.890	1.841	11.847	476.60	247	119.44	5.200	0.788	0.793	4.90	6.33
13.45	10.07	1.900	1.850	11.903	478.40	248	120.00	5.227	0.792	0.798	4.92	6.36
13.51	10.11	1.909	1.859	11.959	480.20	249	120.56	5.254	0.796	0.802	4.95	6.39
+13.56	+10.16	+1.918	+1.868	+12.015	+482.00	+250	+121.11	+5.280	+0.800	+0.807	+4.97	+6.42

Tabla 2.5 Tipos de termocuplas para temperaturas de 400 a 500 °F

Según nos indica la tabla los valores mas aproximados corresponde a una termocupla tipo J, con un milivoltaje de 12.23mV, y una temperatura de 438.8 °F.

Se observa claramente que los valores dados por la tabla casi son similares con los valores que tenemos como datos.

El tipo de termocupla calculado coincide con la termocupla que nos recomienda el fabricante del controlador de temperatura XMTG.

2.10.3 DIMENSIONAMIENTO DEL ÓRGANO REGULADOR

El dimensionamiento de órgano regulador del horno se lo hará en base a la corriente eléctrica que va a circular.

Esta corriente se la obtiene mediante la potencia y el voltaje de utilización del horno, la cual será:

$$PT = \sqrt{3} * VL * IL$$

$$IL = \frac{PT}{\sqrt{3} * VL}$$

$$IL = \frac{2200}{\sqrt{3} * 220} = 5.76 A$$

Donde:

IL= Corriente que circula por los elementos

PT = Potencia del horno.

VL = voltaje disponible en la red.

El órgano regulador que se escoge es un contactor electromagnético categoría AC1 que es para cargas resistivas, el cual deberá estar en capacidad de soportar 10 A, para lo cual elegiremos bajo ciertos parámetros.

2.10.3.1 Criterios para la elección de un contactor

Para elegir el contactor que más se ajusta a nuestras necesidades, se debe tener en cuenta los siguientes criterios:

- Datos de la bobina del contactor:

- Tipo de corriente: Corriente altera
 - Voltaje de alimentación: 220 V.
 - Frecuencia: 60 Hz.
-
- Potencia nominal de la carga: (2.2 KW).
 - Condiciones de servicio: Existen maniobras que modifican la corriente de arranque y de corte.
 - Por la categoría de servicio: AC1, (carga puramente resistiva, para calefacción eléctrica).

Bajo estos mismos fundamentos deberemos elegir un contactor para el motor del ventilador: el cual es de 220 V y una corriente de 2 / 5 amperios dependiendo del tipo de conexión.

- Tipo de corriente (alterna), tensión de alimentación de la bobina (220 V) y 60 Hz. de frecuencia.
- Potencia nominal de la carga (1/2 HP).
- Condiciones de servicio: Existen maniobras que modifican la corriente de arranque y de corte. En nuestro caso el servicio es normal.
- Si es para el circuito de potencia, los contactos deberán soportar 2 A. Y el número de contactos auxiliares los necesarios.
- Por la categoría de empleo AC2, (motor sincrónico).

2.10.4 RELÉ TÉRMICO

Este tipo de protección se la dimensionará casi de forma similar a la del contactor, tomando como referencia la corriente que circula por los elementos. Estos elementos cuentan con un contacto normalmente cerrado y otro normalmente abierto, el que nosotros utilizaremos en ambos casos es el contacto NC. Este

contacto cumple la función de abrir el circuito de mando si este detecta una sobre corriente en las resistencias o en el motor del ventilador.

El rango que utilizaremos para la protección térmica de las resistencias es de 6-9.5 Amperios, mientras que la protección térmica del motor del ventilador lo aremos con un rango de 2.4-5 amperios. Estos valores lo obtenemos de la tabla 2.6. La cual nos da el tipo de relé térmico que se debe utilizar.

Tipo	Campo de reglaje (A).	Tipo	Campo de reglaje (A).	Tipo	Campo de reglaje (A).
CT 3-0.16 A	0.1-0.16	CT 3-12.5 A	8.5-12.5	CT 1-90 A	70-90
CT 3-.24 A	0.15-0.24	CT 3-16 A	12-16	CT 1-100 A	65-100
CT 3-0.38 A	0.24-0.38	CT 3-23 A	16-23	CT 1-145 A	90-145
CT 3-0.62 A	0.38-0.62	CT 3-32 A	23-32	CT 1-150 A	100-150
CT 3-1 A	0.62-1	CT 3-42-32 A	25-32	CT 1-200 A	140-200
CT 3-1.6 A	1-1.6	CT 3-42 A	32-42	CT 1-290 A	180-290
CT 3-2.5 A	1.6-2.5	CT 3-52 A	40-52	CT 1-400 A	275-400
CT 3-4 A	2.5-4	CT 3-60 A	52-60	CT 1-500 A	320-500
CT 3-6 A	3.8-6	CT 3-64 A	58-64	CT 1-800 A	500-800
CT 3-9.5 A	6-9.5	CT 3-72 A	64-72.5	CT 1-1250 A	780-1250

Tabla 2.6 Campos de reglaje de los relés térmicos

2.10.5 ELEMENTOS DE MANDO Y SEÑALIZACIÓN

Los elementos de mando utilizados en el horno son:

- Pulsador de color rojo de contactos normalmente cerrados (1,2), para el apagado del horno, con una capacidad de corriente de 10 A, y un voltaje de 500 V.

- Pulsador de color verde de contactos normalmente abiertos (3,4), para el encendido del horno, con una capacidad de corriente de 10 A, y un voltaje de 500 V.
- Luces piloto de 220V, 10W, de color rojo, verde y azul, la luz verde indica el correcto encendido del horno, la luz azul indica el encendido y apagado del banco de resistencias, y la luz roja indicará si el horno no está funcionando correctamente.

2.10.6 SELECCIÓN DEL CABLE ELÉCTRICO

Esta selección está en función de la máxima cantidad de corriente que el conductor puede transportar.

La alimentación de los elementos de resistencia y el motor del ventilador están por medio de tres cables N° 10AWG, que son suficientes para la corriente que necesitan estos elementos (Ver **anexo 7**). Para el circuito de control se utiliza un alambre flexible N° 18AWG.

Para la alimentación de energía eléctrica en todo el sistema del horno utilizamos un enchufe trifásico de una capacidad de 30A, 500 V.

CAPÍTULO III

CONSTRUCCIÓN

3.1 CARACTERISTICAS GENERALES

En este capítulo trataremos todo lo referente al desarrollo en la parte de la construcción, aquí se detalla todos los pasos que fueron necesarios para la elaboración del horno.

En el capítulo 2 se realizo los cálculos y la selección de los materiales, en este capítulo se procederá a la construcción y ensamblaje del horno.

A continuación se hará una rápida descripción de las partes, y luego se indicara como están elaboradas:

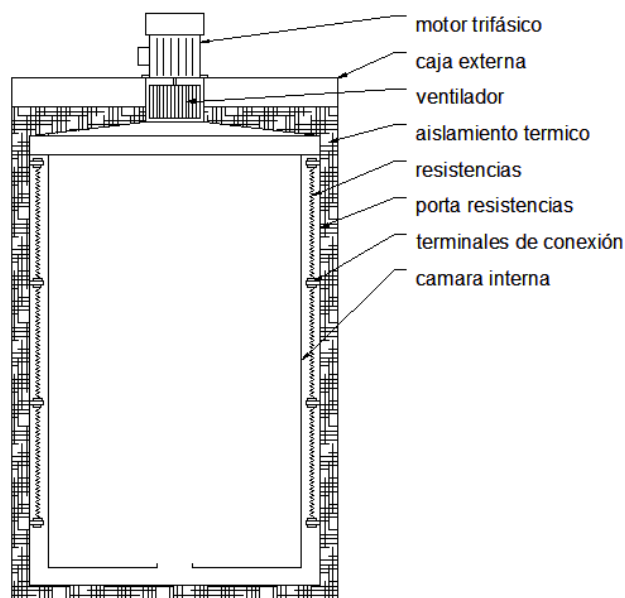


Figura 3.1 Detalle de las partes constitutivas del horno

En la figura 3.1 se indica todas las partes constitutivas del horno, las cuales irán colocadas sobre una estructura metálica.

Los pasos que fueron necesarios para la elaboración del horno son los siguientes:

- Construcción de la estructura.
- Conformación de las cámaras.
- Ensamblaje de los componentes.

3.2 CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA

El diseño de la estructura se ha visto en el capítulo anterior, puesto que se hizo la elección de la forma y el material del cual se va a construir la estructura, en este capítulo nos dedicaremos a detallar cada uno de los pasos seguidos.

Tanto las columnas y los travesaños están elaborados en ángulo de alas iguales de 20mm por 20mm y con un espesor de 3mm como se ve en la figura 3.2.

La elección de este material fue hecha en base a que reunía ciertas características como lo son: estructura sólida y ligera, bajo costo del material y su fácil obtención en el mercado local, y que no se requiere de trabajos especiales, ni máquinas especiales para trabajarlo.



Figura 3.2 Perfil Estructural Longitud de 6m, H=20mm, B=20mm y e= 3mm

La elaboración empieza, cortando los pedazos a la medida diseñada, e ir formando cada parte de la estructura.

Primero realizamos el corte del ángulo estructural, con las siguientes medidas: cuatro pedazos de 145cm, 10 pedazos de 90cm, 8 pedazos de 80cm, 8 pedazos de 113cm y 6 pedazos de 70cm.

Una vez que se ha cortado los pedazos con sus respectivas juntas, se procede a formar la estructura por partes, primeramente tomamos los cuatro pedazos de 145cm que serán las columnas principales de la estructura, luego tomamos ocho pedazos de 80cm para formar los travesaños laterales, y diez pedazos de 90cm para formar los travesaños de la parte posterior y frontal.

Para realizar la unión (soldadura) de estos pedazos de ángulo se utilizo algunos tipos de juntas como; a tope y angular. Como se puede observar en la figura 3.3.

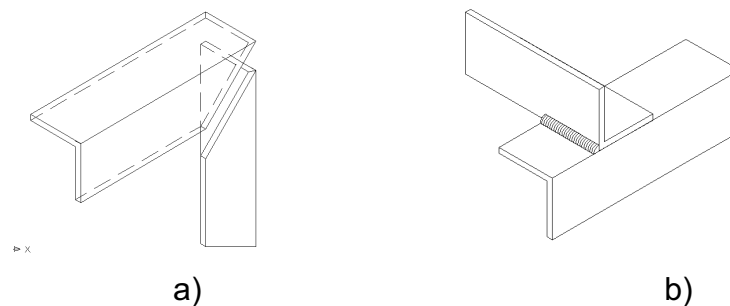


Figura 3.3 Tipos de juntas utilizadas para la elaboración de la estructura. a) Soldadura sobre bordes rectos(a tope), b) soldadura angular

Todo este conjunto unido da la forma de un cubo de 145cm x 90cm x 80cm, como se ve en la figura 3.4, cabe indicar que esta es la estructura donde ira ensamblada la cámara exterior.

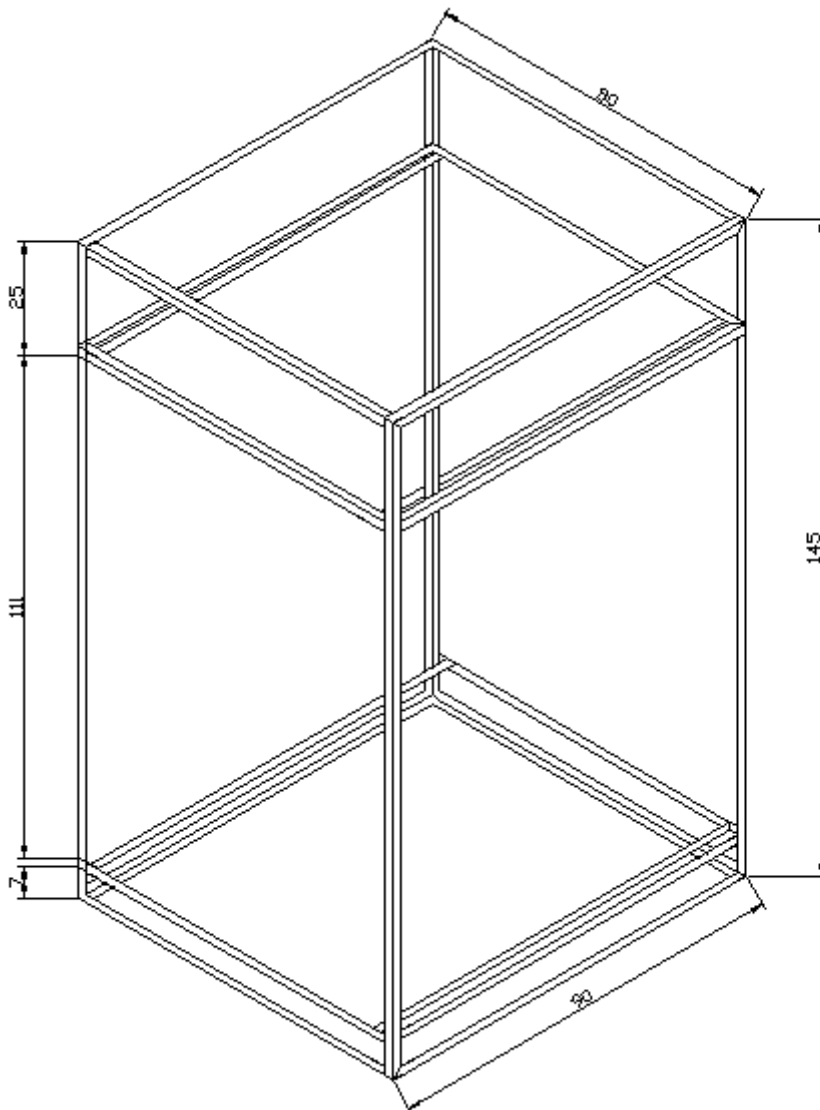


Figura 3.4 Estructura metálica de la parte exterior del horno

Terminada la estructura principal empezamos a construir la estructura donde ira montada la cámara intermedia, se utiliza cuatro pedazos de 113cm y dos pedazos de 70 cm, estos son unidos mediante soldadura sobre los travesaños posterior y frontal de la estructura principal, como se puede apreciar en el grafico 3.5.

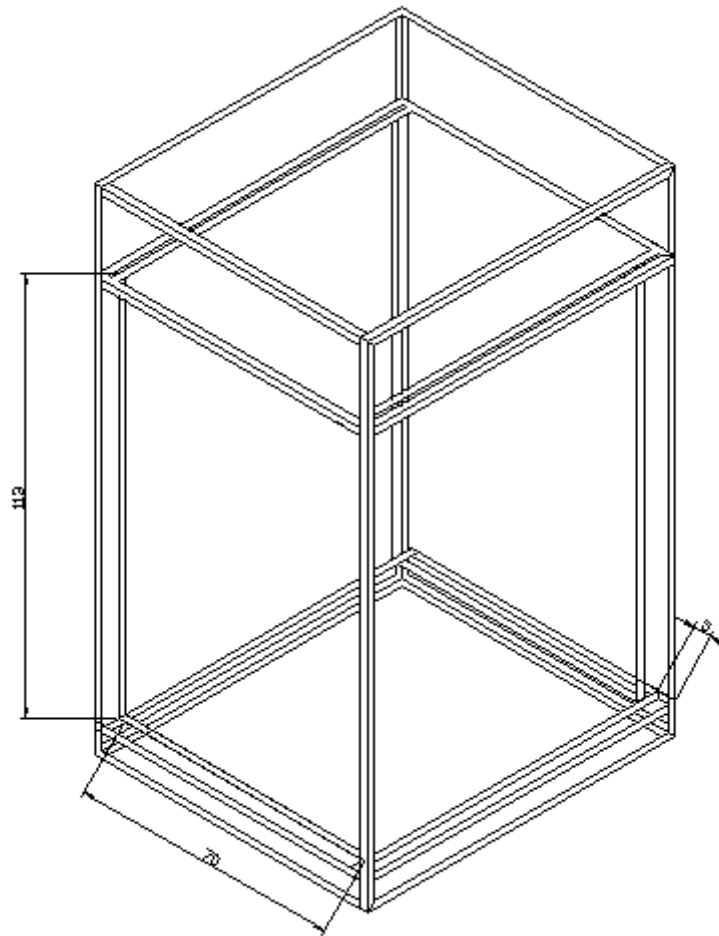


Figura 3.5 Estructura metálica de la parte intermedia del horno

Finalmente construimos la estructura donde va la cámara interior, utilizamos cuatro pedazos de 113cm y cuatro pedazos de 70cm, los pedazos de 113cm se suelda sobre los travesaños posterior y frontal, mientras que los pedazo de 70cm se los une a las columnas de 113cm formando una base de 70cm x 70cm, como se ve en el grafico 3.6.

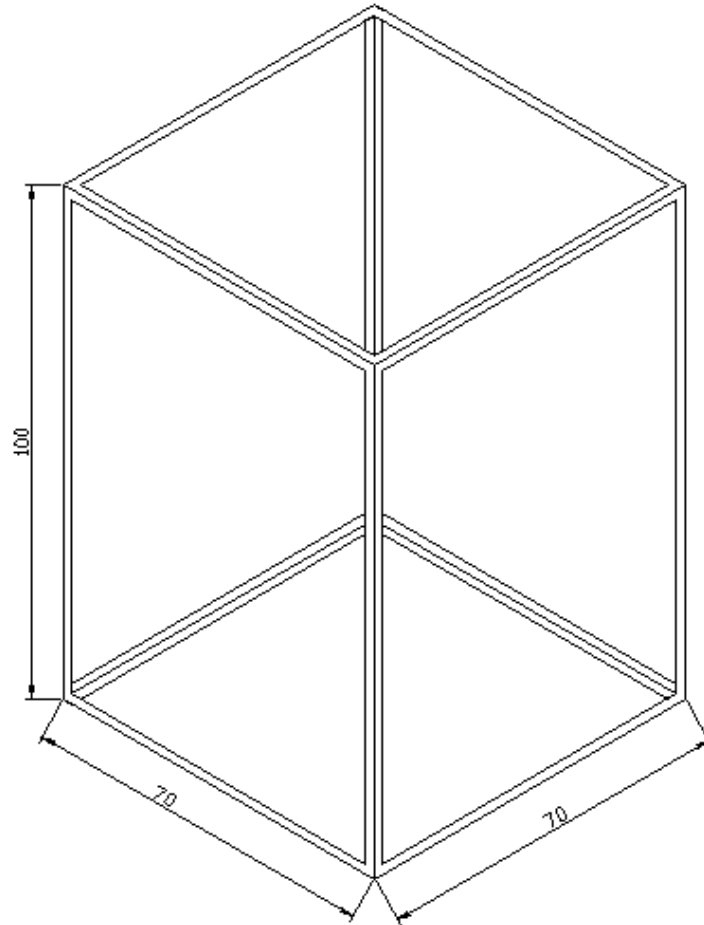


Figura 3.6 Estructura metálica de la parte interior del horno

Toda esta unión del conjunto de piezas de la estructura se lo realizo mediante soldadura eléctrica de arco, cabe señalar que para soldar los pedazos de ángulo cortado, se debió utilizar cierto tipo de junta entre los materiales a unir, a continuación se explicara brevemente que tipo de suelda y junta se utilizo.

El tipo de electrodo a utilizarse es el 6011, el cual es un electrodo celulósico, utilizado para soldadura de penetración, ya que produce un arco muy estable y solidificación rápida. (Mas detalles ver **anexo 8**). El tipo de junta a utilizarse será la de tope y angular como se muestra en la figura 3.7.



Figura 3.7 Tipo de soldadura

Una vez que se ha soldado todo el conjunto de piezas, se obtendrá una estructura de las siguientes características (figura 3.8). Las dimensiones de dicha estructura se los vieron anteriormente en la elaboración de cada estructura.

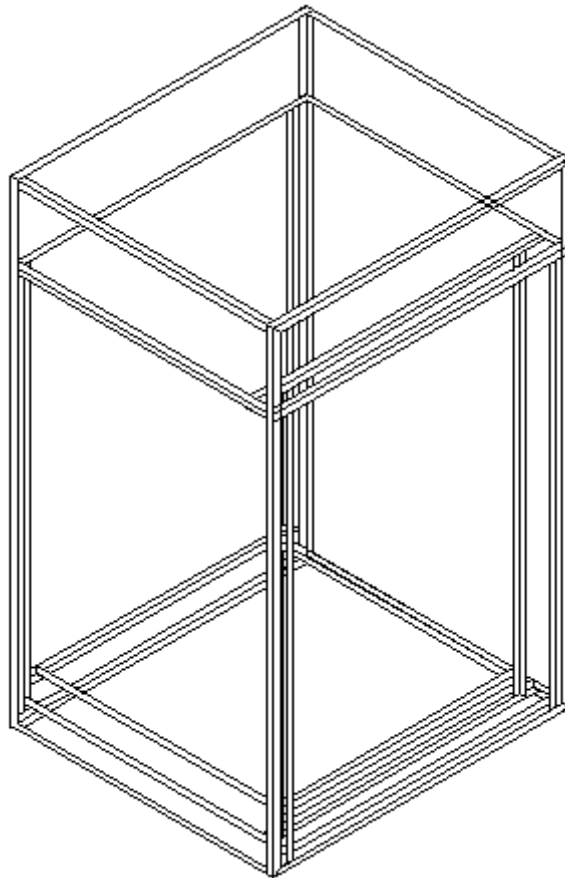


Figura 3.8 Forma de la estructura ya terminada

3.2.1 EQUIPO Y ACCESORIOS UTILIZADOS

El equipo fundamental utilizado para realizar este trabajo, es el modelo de soldadora de transformador, este genera corriente alterna adecuada para soldar. Uno de los accesorios necesarios son los cables adecuados para transportar la corriente, los cuales van conectados al porta electrodos y el otro a la grapa comúnmente llamada masa o tierra.

A continuación en la figura 3.9 se muestra claramente todas las partes que componen la soldadora, y la conexión de los cables.

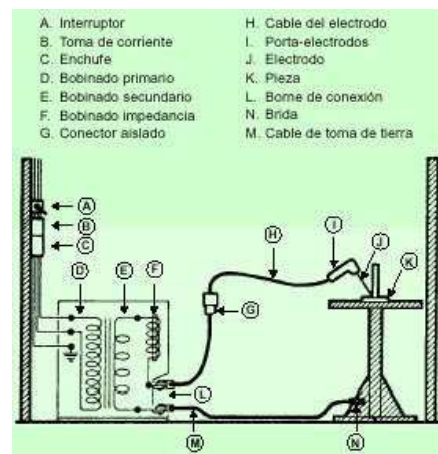


Figura 3.9 Componentes de una soldadora

Otro accesorio indispensable y fundamental es la pantalla protectora o más conocida como careta o casco, esta se utiliza con el fin de evitar los efectos nocivos sobre el rostro, piel, y principalmente los ojos, los cuales son causados por rayos ultravioletas emitidos por el arco eléctrico. Además protegen del calor y las partículas de metal fundido, este casco por lo general está fabricado de fibra vulcanizada. También es recomendable usar la ropa y calzado adecuado para realizar este tipo de trabajos, sin olvidar de los guantes para proteger las manos de las quemaduras por objetos ya soldados o simplemente por el calor que se

emite en el momento que se está soldando, todos estos implementos se muestran en la figura 3.10.



Figura 3.10 Pantalla de cabeza para soldar de fibra vulcanizada

3.3 CONSTRUCCIÓN DE LAS CÁMARAS

Estas cámaras están construidas de tal manera que cumpla con cada una de la funciones especificadas en el diseño, cabe señalar que están elaboradas en planchas de tool ASTM A 36 de un espesor de 1.5mm. **Ver anexo 9.**

3.3.1 CÁMARA INTERNA

Primero trazamos las medidas en la plancha de tool, luego se procede a cortar según las medidas realizadas. El corte de esta plancha se lo realiza en la cizalla.

Luego de tener cortadas las planchas, empezamos a formar la cámara interna, donde realizamos 150 perforaciones en cada una de las paredes laterales; estas perforaciones tendrán un diámetro de 8mm cada una y deberán estar repartidas uniformemente en dichas paredes.

Para la realización de estas perforaciones se utiliza únicamente un taladro eléctrico manual y una broca de 8mm.

Luego se procede a realizar la parte superior de la cámara, a esta plancha le dejamos un orificio de 12.46cm de diámetro para la colocación del ventilador.

Para la parte inferior de la cámara se coloca una plancha que tiene una abertura de 10cm y un doblado de 3cm en el centro, esto es para que ingrese el aire en posición vertical.

Finalmente colocamos una plancha en la parte posterior de la cámara, además se sujetan cuatro soportes en el interior de la cámara, donde van dos parrillas de 70cm por 70cm para la colocación de las cargas, realizado todo este proceso obtendremos una cámara interna como se muestra en la figura 3.11.



a)

b)

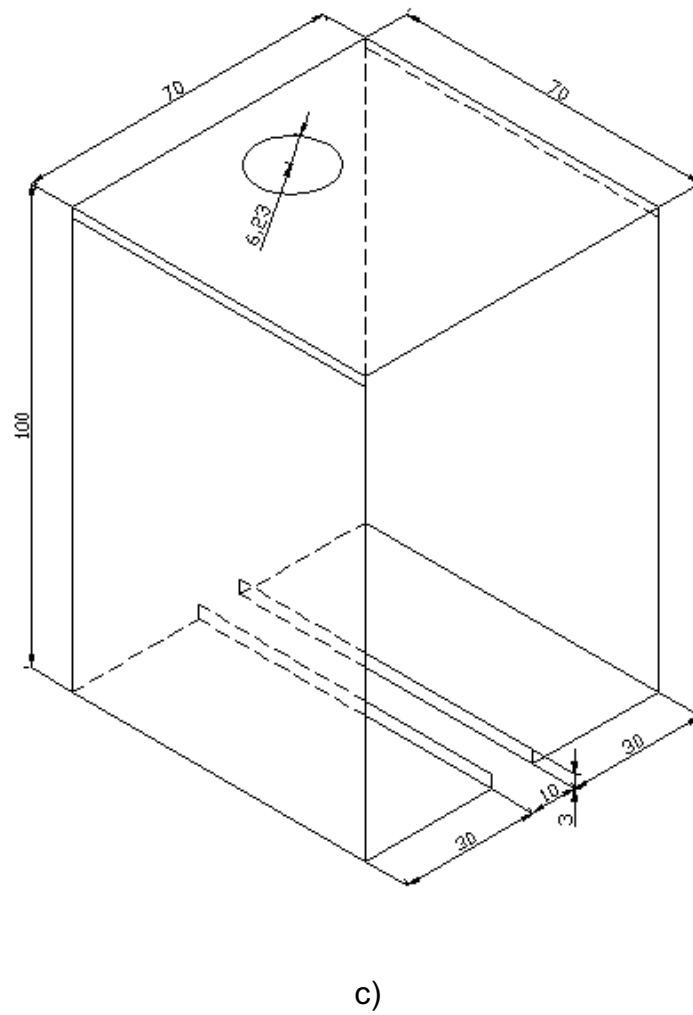


Fig. 3.11 Cámara interna: a) Fotografía de la parte interna de la cámara. b) Fotografía de la cámara interna desde la parte exterior c) Figura esquemática de la cámara interna

Esta cámara es colocada sobre la estructura metálica que se hablo anteriormente mediante puntos de suelda, luego la recubrimos con una pintura especial que soporta altas temperaturas, (Pintura Epoxico –altos sólidos, disuelta en tiñer), como se muestra en la figura 3.12.



Figura 3.12 Cámara interna terminada. (Toma desde la parte interna, como de la parte externa)

3.3.2 CÁMARA INTERMEDIA

Esta cámara cuenta con dos paredes laterales, una plancha superior y una inferior.

Se cortan dos planchas de 70cm x 120cm, estas son las paredes laterales de la cámara intermedia, para la parte superior e inferior se cortan dos planchas de 80cm x 70cm, las paredes laterales son utilizadas como porta resistencias del horno, puesto que en ellas van a estar montadas mecánicamente. El diseño de esta cámara se ha previsto de tal manera que los elementos de resistencia se encuentren aislados eléctricamente como mecánicamente en las paredes interiores de las cámaras, con el fin de proteger a los elementos. Estas paredes van sujetas a la estructura metálica mediante tornillos, se escogió este tipo de

sujeción con el fin de tener un fácil acceso a las resistencias y poder darles mantenimiento, puesto que con este método solo se tendrán que destornillar las paredes porta resistencias y se podrá sacar el conjunto el banco de resistencias.

Las resistencias irán sujetas a la pared porta resistencias, mediante aisladores de cerámica, a su vez estos están sujetas a las paredes con los terminales de conexión. Cabe señalar que el espacio que se tiene entre la cámara interna y la pared porta resistencias es de 5 cm. (Véase figura 3.13)



Figura 3.13 fotografía de la porta resistencias, ya colocadas en su respectivo sitio

3.3.2.1 Conformación de las espiras

La conformación de las espiras para los elementos de resistencias se los realiza con la ayuda de un husillo (eje de acero). El diámetro del husillo debe corresponder al diámetro interior de la espira, disminuido por el relajamiento del resorte cuya magnitud aproximada puede estimarse según el cuadro siguiente:

d	D´	F	D´	F	D´	F	D´	F
1.0	3.0	0.2	5.0	0.4	8.0	0.8	12.0	1.6
2.0	6.0	0.3	10.0	0.6	16.0	1.2	24.0	2.4
3.0	9.0	0.4	15.0	0.8	24.0	1.6	36.0	3.2
4.0	12.0	0.5	20.0	1.0	32.0	2.0	48.0	4.0
5.0	15.0	0.6	25.0	1.2	40.0	2.4	60.0	4.8
6.0	18.0	0.7	30.0	1.4	48.0	2.8	72.0	5.6
7.0	21.0	0.8	35.0	1.6	56.0	3.2	84.0	6.4

Tabla 3.1 Relajamiento (F) en relación con el diámetro del hilo (d) y del husillo (D´) en mm

Para la elaboración de los bobinados se utilizo un torno normal, para el husillo se utilizo un eje de un diámetro de 5/16 (8mm. aproximadamente). En las mordazas del mandril del torno se fija un extremo de husillo, junto con uno de los extremos del hilo que es curvado en ángulo recto, de tal manera que el extremo de conexión pueda mantenerse derecho, mientras el otro extremo del husillo se fija a un contrapunto móvil.

Las primeras espiras se las enrollarán girando el mandril del torno a mano, las siguientes espiras se hace regulando el número de revoluciones del mandril entre 60 a 180 rpm, debiendo mantener el hilo lo más firme posible, procurando conducir de tal manera que las espiras queden lo más apretadas posibles. Utilizando un eje de diámetro de 5/16 como guía (husillo), se obtendrá una espira de 10mm de diámetro exterior.

3.3.2.2 Estirado de las espiras

El estirado de las espira se lo hará conectando los extremos del espiral a una fuente de corriente, la cual proviene de un transformador variable, cuyo efecto es de regular el voltaje (caída de tensión en los extremos libres de la espiral), con el

fin de controlar la intensidad de corriente que circula por el elemento, de tal forma de suministrar la potencia requerida por dicho elemento, hasta que tenga la capacidad máxima de disipación de calor.

El alargamiento se lo hace lentamente y uniformemente bajo corriente conectada, debe añadirse un margen de 1 % de longitud para la contracción después del estiramiento.

3.3.2.3 Conformación de las resistencias blindadas

Luego de haber conformado las espiras de los elementos de resistencia y de haberlas sometido al proceso de estirado, se procederá a introducir dentro de un tubo de acero inoxidable, de un diámetro de 5/16 de pulgada.

Una vez introducida la resistencia dentro de su funda (blindaje) se procede a llenar el tubo con oxido de magnesio diluido en agua. El oxido de magnesio al estar mezclado con agua formara una especie de pasta, la cual al instante de secarse formara una masa solida (masa refractaria) la cual tiene una doble función; aislar eléctricamente a la resistencia de su blindaje y poder transmitir mediante convección el calor de la resistencia hacia la funda, y esta pueda emitir el calor hacia la parte interior del horno, además proporciona una protección atmosférica, protección contra golpes involuntarios contra los elementos de resistencias.

3.3.2.4 Conformación de las ondulaciones

Para conformar las ondulaciones en los elementos de resistencia se deberá tomar en cuenta que; estas deben estar perfectamente distribuidas en las paredes internas (porta resistencias), de tal forma que el calor aportado a la carga se uniforme dentro de la cámara interna. La uniformidad del flujo de calor a la carga, se obtiene mediante una buena distribución de los elementos de resistencia en las

paredes interiores de la cámara. Los elementos de resistencia van aislados en dichas paredes tanto eléctricamente como mecánicamente.

Elaborado los elementos de resistencia empezamos a instalar en el porta resistencias de la cámara intermedia, como se puede ver en la figura 3.14.

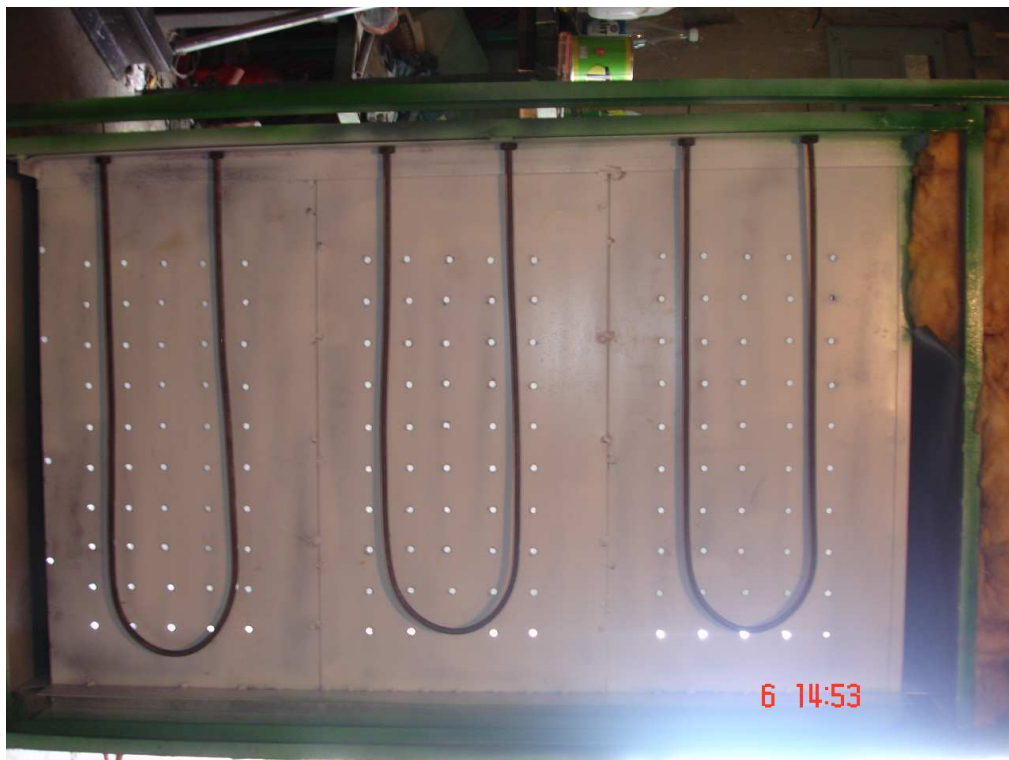


Figura 3.14 Distribución de las resistencias

3.3.2.5 Terminales y conexiones

Realizado el elemento de resistencia procedemos a colocar los elementos de sujeción, luego soldamos el terminal con la resistencia, como vemos en la figura 3.15.



Figura 3.15 Terminal de conexión utilizado

Colocadas las respectivas terminales en las resistencias realizamos las conexiones eléctricas, en nuestro caso una conexión trifásica delta doble paralelo.

En la figura 3.16 se muestra los elementos de sujeción instalados en nuestro horno.



Figura 3.16 Elementos de Sujeción

3.3.2.6 Pared aislante

Instalados los elementos de resistencias con sus respectivas bases, colocamos las paredes de la cámara intermedia, luego forramos las paredes con el material aislante (lana de vidrio). El espesor del aislamiento es de 5 cm en cada pared, como se puede ver en la figura 3.17.



Figura 3.17 Conformación de las paredes aislantes

3.3.3 CÁMARA EXTERIOR

Terminado de colocar el material aislante en las paredes, empezamos a ubicar las paredes exteriores las cuales van atornilladas a la estructura.

Cabe señalar que en la parte superior deberá estar ubicado el motor del ventilador que se utiliza para la recirculación de aire.

Para la evacuación de los gases producidos en el interior del horno, realizamos una perforación de 5 cm de diámetro en la parte posterior del horno en las tres

cámaras, luego colocamos un tubo cerámico, para el cierre y/o apertura del mismo, construimos una compuerta de tool de 6 cm de diámetro sujeta alrededor del orificio de evacuación de gases.

El tablero de control está ubicado en la pared lateral derecha del horno, como se muestra en la figura 3.18.



Fig. 3.18 Vista frontal del horno

3.3.4 PUERTA DEL HORNO

Esta elaborada con el mismo procedimiento y material que se utilizó en las paredes tanto internas como externas, es montada sobre un marco de ángulo el cual nos sirve como estructura; sobre este marco se coloca la cubierta de acero de la puerta, pero antes se debió colocar el material aislante; se utilizó la lana de vidrio como material aislante.

El mecanismo que se utiliza para abrir o cerrar la puerta, es mediante bisagras; las cuales están soldadas y emperradas al resto del conjunto. Ver figura 3.19.



Fig. 3.19 Colocación de la puerta del horno con bisagras

Una vez que se tiene armado todo el conjunto por completo, se procederá a aplicar una capa de pintura anticorrosiva y resistente al calor, tanto en la parte interna como en la parte externa.

3.3.5 VENTILACIÓN DE AIRE FORZADO

Como se explico anteriormente el aire se hará circular en el interior del horno mediante un grupo motor-ventilador (ventilador de alabes hacia adelante o más conocido como jaula de ardilla), para lograr tener una buena circulación de aire se utilizara un motor de una potencia de $\frac{1}{2}$ HP, con una velocidad de 1725 rpm, con un voltaje nominal de 220 V y corriente nominal de 2 A, con una frecuencia de 60 Hz.

Todo el grupo motor-ventilador lo ubicamos sobre la perforación de 12.46 cm de diámetro que se dejo sobre la cámara interna, como se puede observar en la figura 3.20.



Figura 3.20 Espacio donde estara montado el dispositivo de circulación de aire forzado

El aire se reúne o se acumula mediante una carcasa o también llamado caracol, y se concentra en una sola dirección. El caracol va unido a la cámara mediante

soldadura de arco eléctrico, este también sirve como base para el motor lo cual va unido al ventilador, el caracol y el ducto de circulación de aire forzado está elaborado del mismo material que las cámaras, (tool ASTM A 36 de un espesor de 1.5mm). En la figura 3.21 se puede observar más claramente como está conformado el dispositivo de aire forzado.



Figura 3.21 Dispositivo de aire forzado, (grupo motor-ventilador, caracol)

En el exterior del dispositivo de aire forzado se procederá a recubrirlo con fibra de vidrio, teniendo en cuenta que antes de colocar el aislante se deberá elaborar un sistema para que el motor tenga la ventilación necesaria.

Luego de esto se coloca la cubierta superior externa, como se ve en la figura 3.22.



Figura 3.22 Dispositivo de aire forzado, con su respectiva capa de aislamiento

En el **Plano 1** se puede observar más detalladamente cada uno de los componentes del horno eléctrico con sus respectivos cortes.

3.3.6 TIPO DE CONEXIÓN

El sistema de conexión eléctrica, resulta vital para el funcionamiento y protección de los elementos de resistencia, en este caso se deberá tomar en cuenta que se trata de una carga equilibrada, con la cual obtendremos una mayor eficiencia y facilidad de escoger el tipo de conexión.

Con el fin de obtener el mejor rendimiento de los elementos de resistencia se elige el tipo de conexión en delta.

Esta elección se lo hizo debido al número de resistencias que se tiene (6 resistencias), como se mencionó anteriormente se deberá conectar dichas resistencias de tal forma que quede uniformemente distribuidas y de una forma equilibrada.

La conexión delta se caracteriza por tener tres ramales iguales (cargas equilibradas), las cuales están conectadas formando un triángulo.

En este caso cada ramal estará compuesto de un grupo de dos resistencias como se indica en la figura 3.23.

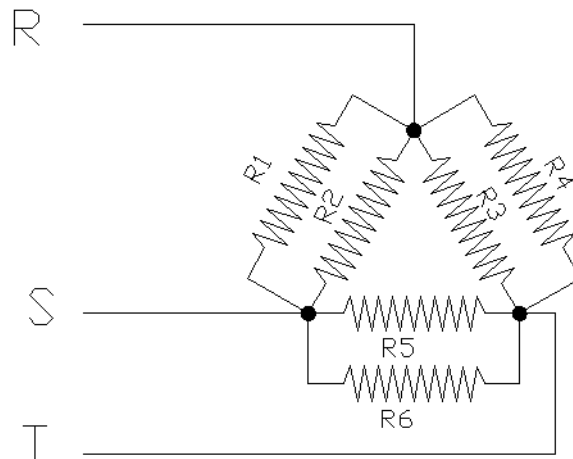


Figura 3.23 Diagrama esquemático del tipo de conexión en delta, utilizado para la conexión del conjunto de resistencias

3.3.7 INSTALACIÓN DEL CONTROL ELÉCTRICO

Una vez colocada la caja de control eléctrico y pasado los respectivos cables se procederán a formar los diferentes circuitos eléctricos, tanto el de control como el de fuerza.

3.3.7.1 Instalación del circuito de fuerza

El circuito de fuerza es el que alimenta de energía eléctrica a las resistencias y al motor trifásico, también tendrá como objetivo proteger a los elementos contra cualquier anomalía.

Este circuito está alimentado por tres líneas; R, S, T entre cada línea tendremos un voltaje de 220 V, estas líneas van conectadas directamente a los contactos principales del contactor que alimenta al conjunto de resistencias. En el caso del motor antes de conectar a los contactos principales del contactor pasara por una protección térmica. En la figura 3.24 se muestra el circuito de fuerza utilizado.

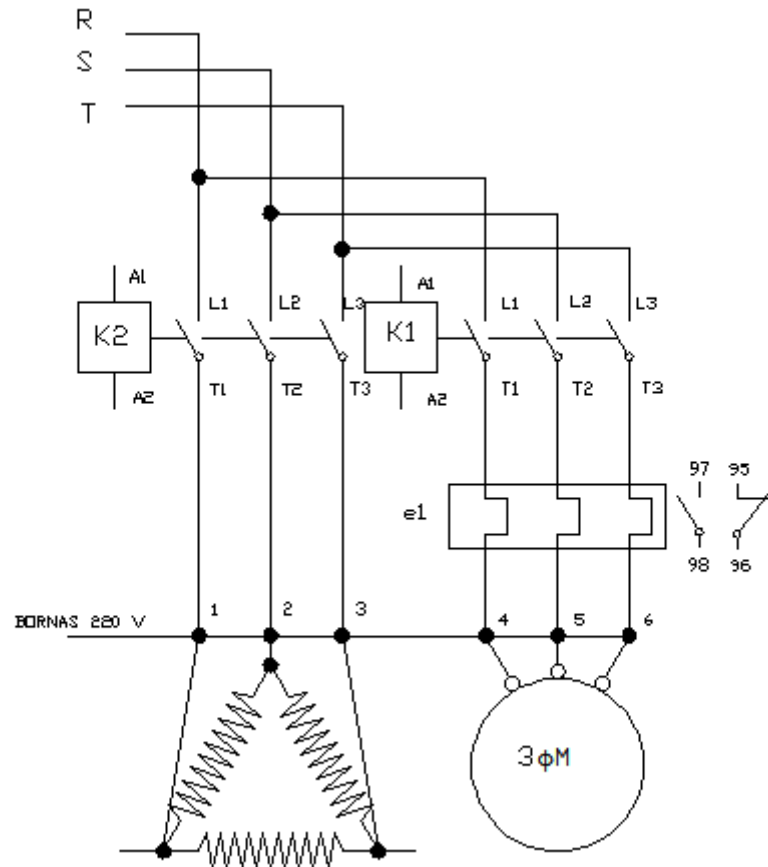


Figura 3.24 Circuito de fuerza

3.3.7.2 Instalación del circuito de control

El circuito de control como su nombre lo indica es el que va a controlar todos y cada uno de los elementos eléctricos del sistema.

Para este circuito se utiliza dos líneas; R y S de acuerdo al voltaje nominal de los elementos eléctricos a gobernar. Este circuito está encargado de realizar todas

las funciones para las cuales fue diseñada la maquina, siempre y cuando se siga un orden cronológico de funcionamiento. Para mejor visualización de este circuito véase la figura 3.25 donde está claramente especificado todos los componentes.

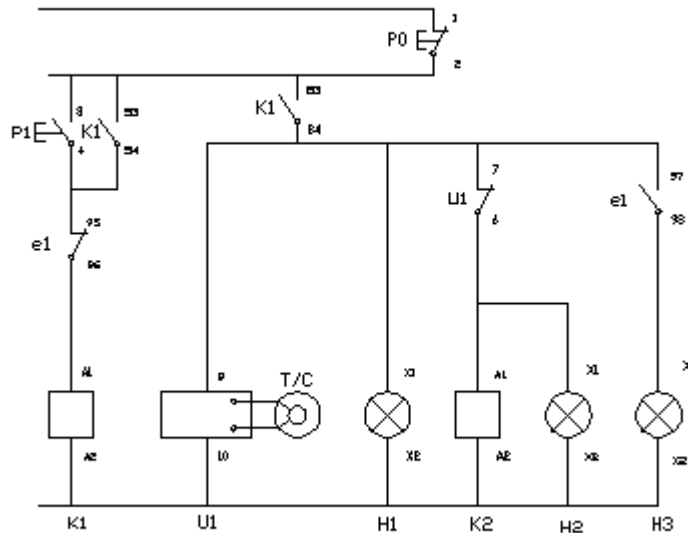


Figura 3.25 Diagrama de control

A continuación aremos una breve descripción del funcionamiento básico del circuito de control:

El encendido del horno se lo hará presionado el pulsador P1, el cual activara el contactor K1 y K2, el contactor K2 corresponde al banco de resistencias, mientras el contactor K1 corresponde al motor M1 poniéndolos en funcionamiento inmediatamente luego de activarlo. Para su señalización se utilizo una luz piloto de color verde, el cual se enciende al momento de presionar P1.

Una vez que están en funcionamiento el banco de resistencias y el motor, empezara a subir la temperatura dentro de la cámara interna, esta tendrá que llegar hasta los 100°C, cuando se ha llegado a esta temperatura se procederá a apagar el banco de resistencias, este ciclo tiene que ser repetitivo, esto se lo logra mediante el controlador de temperatura, el cual tendrá que mantener una temperatura constante dentro de la cámara.

Para el proceso de apagado se deberá presionar el pulsador P0, el cual se encarga de desactivar o des-energizar todos elementos eléctricos, esto se logra puesto que dicho pulsador habré el circuito de control, volviéndolo a su estado inicial o de apagado.

3.3.8 PRUEBAS DE APLICACIÓN CON CARGA

Se realiza las pruebas del horno con una carga aplicada en su interior, de esta manera comprobamos el funcionamiento.

En la tabla 3.2 se observa los diferentes resultados, donde se tiene una relación de la temperatura máxima con el tiempo de operación, en un ciclo de funcionamiento del horno.

PRUEBA DE OPERACIÓN	
TIEMPO (minutos)	TEMPERATURA (°C)
0	0
10	60
18	100
24	110
28	120
33	130
38	140
42	150
47	160
53	170
59	180
66	190
73	200

Tabla 3.2 Pruebas de Operación

Una vez realizadas las pruebas se concluye:

- El diseño y construcción del horno responde eficientemente a su funcionamiento.
- Se demuestra que la estructura del horno, soporta la carga de trabajo.
- Se comprueba que la temperatura de trabajo, llega en el tiempo establecido.
- El control automatizado responde eficientemente.

CAPÍTULO IV

MANUAL DE FUNCIONAMIENTO Y MANTENIMIENTO

4.1 INTRODUCCIÓN

Este manual incluye un análisis físico de la máquina, que nos servirá como guía para ejecutar las operaciones de funcionamiento. También es un parámetro de evaluación de todos los trabajos preliminares a realizarse en la máquina.

Este manual consta de una breve descripción de la máquina. También se describen las partes más delicadas, como son los instrumentos de control, etc.

Además consta de acciones inmediatas después de que la máquina deje de funcionar, en presencia de un accidente.

También se describen los medios de protección de tableros eléctricos, electrónicos, y sus respectivos elementos.

4.2 FUNCIONAMIENTO

Este equipo eléctrico está predestinado para el secado o reducción de humedad que contienen los bobinados de los motores eléctricos ó transformadores.

Antes de encender las resistencias del horno se deberá calibrar la temperatura de trabajo, esta temperatura se escoge de acuerdo al tipo de trabajo que se va a realizar, en este caso se trata de extracción de humedad.

En este caso la calibración de temperatura se la hará mediante un controlador. La temperatura de trabajo es de 100°C, dicho valor se lo deberá colocar en el set

point del instrumento (en los 100°C), mediante el main, el cual servirá como punto de referencia o posición de desconexión en el momento que dentro de la cámara interna del horno llegue a dicha temperatura. Cabe señalar que el SPAM o amplitud de temperatura de este instrumento tiene un valor máximo de 200°C.

También vale la pena indicar que se debe tener un valor mínimo de temperatura, en la cual el controlador deberá encender nuevamente el horno en forma automática, también denominado posición de conexión, esta valor de temperatura es arbitraria depende de que tan constante se quiera que sea la temperatura dentro del horno. En nuestro caso tendremos una temperatura de 90°C, la cual se la calibrara con el diferencial.

Una vez que se ha calibrado la temperatura se podrá encender las resistencias del horno, (elementos de calefacción) en forma segura. Ya que el operador solamente tendrá que encender el horno una sola vez, puesto que la regulación de temperatura dentro del horno es automática.

Al momento de introducir dentro del horno la carga (bobinados) se deberá estar seguro que la temperatura del horno sea mínima, esto se lo hará con el objeto de proteger al operador.

El aire es llevado mecánicamente a través de la cámara, mediante el trabajo que realiza el soplador (ventilador).

El ventilador sopla un flujo de aire, el cual pasa por encima de los elementos caloríficos (resistencias), este aire va a salir a cierta temperatura por los orificios de la cámara interna.

4.3 MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL EQUIPO

4.3.1 INSTRUCCIONES

Este manual contiene toda la información principal sobre las instrucciones de seguridad, la instalación, el manejo y el servicio de la máquina. Por consiguiente, ponga este manual a disposición de todas las personas que han sido designadas para efectuar trabajos en esta máquina. Leer detalladamente este manual de instrucciones antes de conectar y operar este equipo.

4.3.2 CONTENIDO

Sección 1	Instalación e inspección
Sección 2	Componentes
Sección 3	Mantenimiento
Sección 4	Servicio
Sección 5	Planos eléctricos
Sección 6	Lista de los elementos eléctricos

4.3.2.1 Instalación e inspección

- Si se establece cualquier daño, consulte el manual que viene adjunto a dicho equipo eléctrico, y siga las instrucciones establecidas.
- Este equipo se deberá instalar sobre una base horizontal, de tal forma que el equipo quede perfectamente nivelado con respecto al piso.
- El piso donde se ubique debe ser firme (de preferencia piso de cemento).

- Se debe dejar una distancia entre las paredes y el equipo de un metro como mínimo.
- Se recomienda que el equipo se deberá ubicar en el lugar más ventilado posible.
- Para evitar incendios o el riesgo de electrocución, no exponga el equipo a la lluvia, ni a la humedad.
- Antes de realizar las conexiones a la red eléctrica revisar las indicaciones de este manual. Se debe considerar los datos de placa, que se visualizan en el equipo.
- Este equipo está diseñado para trabajar a 220 VAC 60 Hz en una red trifásica, que es la tensión normal en el sistema nacional de nuestro país.
- Se debe asegurar que el sistema trifásico este completo (R, S, T), con los voltajes nominales de 220 V AC y 60 Hz entre fases.

4.3.2.2 Componentes

1. Enchufe trifásico.- Este dispositivo eléctrico es el que proporciona energía eléctrica tanto al circuito de mando como al circuito de fuerza. Para cualquier tipo de trabajo se deberá desconectar dicho enchufe.
2. Mando de Temperatura.- Es el elemento que mantiene automáticamente la temperatura de operación deseada, se encarga de mantener automáticamente la temperatura casi constante dentro de la cámara del horno. Controla la calibración directamente en grados centígrados, con gran precisión en su funcionamiento. El Set Point (punto de selección) controla la temperatura al llegar a cierto límite determinado, este límite se lo determina mediante el MAIN (también

conocido como posición de desconexión), el cual tiene como objetivo desconectar la alimentación eléctrica a las resistencias. También se debe tener en cuenta que se tendrá una temperatura mínima, a la cual el controlador tienen que encender nuevamente el horno, esta temperatura mínima se la logra calibrar mediante el diferencial (también conocido como posición de conexión). Cabe señalar que entre la calibración del set point y el diferencial se crea una zona intermedia a la cual se la define como banda muerta o banda diferencial, la cual nos sirve como el rango de trabajo, que va desde el punto de accionamiento hasta el punto de re-accionamiento. Este controlador de temperatura cuenta con un SPAM, el cual tiene un rango o escala que va entre 20°C a 200°C, a este rango también se lo conoce como amplitud.

3. Termocupla.- Como la temperatura de trabajo no es muy elevada (100 °C), se ha utilizado una termocupla tipo J, la cual está encargada de indicarnos la temperatura real dentro de la cámara de trabajo.
4. Luz Piloto de limitación (rojo).- Indica cuando se tiene una sobre corriente tanto en las resistencias como en el grupo motor-ventilador, apagando de inmediato todo el sistema eléctrico del horno.
5. Luz piloto (verde).- Indica el buen funcionamiento de los elementos de resistencia y del grupo motor-ventilador.
6. Luz piloto (azul).- Indica cuando el banco de resistencias están encendidas o apagadas, según sea la temperatura que se desea mantener constante.
7. Control de la velocidad del soplador.- En este caso solamente se tiene un solo soplador, de tal manera que la velocidad del aire va a mantenerse constante dentro de la cámara, Este control de velocidad

en el soplador se la puede obtener siempre y cuando la cantidad de sopladores sea de dos en adelante.

8. Soplador.- Proporciona la circulación de aire continuo dentro de la cámara.

4.3.2.3 Mantenimiento

- Siempre que se realice mantenimiento en el horno recuerde siempre desconectar la fuente de energía.
- Se debe revisar los elementos de calefacción (resistencias) cada cierto periodo, lo más recomendable es revisar por periodos de tres meses. Esta revisión consta de verificar o reajustar los terminales de conexión de las resistencias.
- Se realizara un mantenimiento adecuado al tablero de control, lo más recomendable es cada 6 meses.
- Durante el mantenimiento del tablero de control se deberá interrumpir la alimentación de la energía eléctrica del mismo.
- Se debe reajustar los tornillos del tablero, como de los elementos que lo conforman.
- Revisar que los cables estén en buen estado, si se encuentra un cable carbonizado, se lo deberá reemplazar inmediatamente.
- Se deberá revisar el buen estado de los elementos del tablero, esto se lo hace con la ayuda de un multímetro.

- El mantenimiento seguido de los motores es limitado, el único mantenimiento seguido que se le puede dar es la limpieza de las superficies exteriores, removiendo el polvo que se acumula en la carcasa del motor, esto asegura un enfriamiento adecuado.
- Los rodamientos no precisan mantenimiento alguno, ya que van provistos de engrase permanente, cuando se producen ruidos fuertes y vibraciones anormales, es debido al desgaste de los rodamientos en cuyo caso se los reemplaza por unos nuevos.
- La lubricación del motor se lo realizara cada seis meses, o lo que recomiende el fabricante.
- Se deberá realizar un mantenimiento al ventilador centrifugo, el cual consta de comprobar que el ventilador este bien balanceado, caso de no estarlo se lo deberá limpiar la rueda y el caracol, puesto que gran parte del desbalanceo se debe a la acumulamiento de impurezas sobre él.
- También se deberá realizar un reajuste de la unión del ventilador con el eje del motor, siempre se deberá tener cuidado que al realizar este trabajo no se desbalance el ventilador.
- La limpieza de la rueda (ventilador) y la carcasa garantizan una operación fina y segura.
- Se debe revisar frecuentemente el estado de la termocupla, que no haya tenido ningún golpe, cables sueltos, y sobre todo que la junta (unión) de la termocupla se encuentre libre de oxido.
- Se deberá tener en cuenta el buen funcionamiento del controlador de temperatura.

4.3.2.4 Servicio

- Colocar el horno en un lugar nivelado.
- No exponer la unidad en lugares cerca de una fuente de calor extremo o frío.
- Confirme el voltaje de uso en los datos de placa.
- Verificar que el espacio dentro de la cámara de trabajo sea el suficiente para que permita el flujo de aire apropiado.

Qué hacer cuando:

- La unidad no funciona:
 - Revise la fuente de energía eléctrica.
- La unidad funciona sin calor:
 - Verificar que el voltaje sea el correcto.
 - Revisar el estado de las resistencias.
 - Revisar que la temperatura de límite sea la correcta.
 - Verificar el estado de la termocupla.
 - Comprobar el estado del controlador de temperatura.
 - Revisar que el circuito de mando este en buenas condiciones.
- La unidad funciona con una alta temperatura:
 - Revisar que la temperatura de límite sea la correcta.
 - Verificar el estado de la termocupla.
 - Comprobar el estado del controlador de temperatura.

- Comprobar que el circuito de seguridad de temperatura funcione adecuadamente.
- La unidad funciona pero no alcanza la escala de mando:
- El suministro de voltaje es incorrecto.
 - Comprobar que la puerta se encuentre bien cerrada.
 - Verificar que el controlador de temperatura este en buen estado.
 - Comprobar que la termocupla este en buenas condiciones.

4.3.2.5 Planos eléctricos

En esta sección se indican los planos eléctricos, tanto los de fuerza como los de mando de la máquina. Ver **Plano 2**.

4.3.2.6 Lista de los elementos eléctricos

A continuación tenemos en la tabla 4.1 una lista de todos los elementos eléctricos que conforma la máquina.

Designación	Componente
H1	Luz piloto de las resistencias 220 V, 12 W.
H2	Luz piloto del motor del ventilador 220 V, 12 W.
H3	Luz piloto de alarma de sobre temperatura
K1	Contactador del motor - ventilador 220 V, 5A.
K2	Contactador principal de las resistencias 220 V, 30 A
M1	Motor trifásico de 1/2 HP, 220V, 60 Hz.
P0	Pulsador de apagado; 500 V, 10 A.
P1	Pulsador de encendido; 500 V, 10 A.
e1	Relé térmico 220V, 2-6 A.
T	Banco de resistencias conectadas en delta (Kanthal)
U1	Controlador de temperatura XMTG CJ
T/C	Termocupla tipo J

Tabla 4.1 Elementos de la Máquina

4.3.3 NORMAS ESPECÍFICAS DE SEGURIDAD

4.3.3.1 Normas específicas para hornos

Son equipos de trabajo destinados generalmente a la cocción de materiales cerámicos o fundición de metales mediante energía térmica. Las consideraciones generales de utilización y precauciones a tener en cuenta son las siguientes:

- Los hornos destinados a cualquier aplicación deberán estar protegidos contra los riesgos de contacto térmico y eléctrico por los usuarios.
- La puerta de los hornos deberá permanecer cerrada en todo momento, abriéndose únicamente cuando sea necesario sacar o introducir algún elemento, lo que se realizará utilizando las pinzas o equipos de protección personal necesarios.
- Todo horno dispondrá del correspondiente manual de instrucciones y libro de mantenimiento, facilitado por el fabricante.
- Las operaciones de limpieza y mantenimiento de cualquier horno, se llevarán a cabo siempre con el equipo desconectado y frío.
- En caso necesario, los usuarios de estos equipos deberán usar ropa de trabajo resistente al calor.

4.3.4 MEDIDAS DISPOSICIONES POR PARTE DEL USUARIO

El usuario es responsable de las siguientes providencias y dispositivos:

- Seguridad de las personas, de los lugares de operación y las vías de transporte.

- Coordinación de todas las disposiciones para el transporte, instalación y puesta en funcionamiento de la máquina.

- Poner a disposición los dispositivos de seguridad, que son necesarios debido a ciertas condiciones propias del lugar de instalación y/o a los reglamentos locales vigentes.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- El costo de mantenimiento de un horno de combustión es elevado, en comparación al costo de mantenimiento de un horno de resistencias eléctricas.
- Las ventajas cualitativas que se presenta entre un horno de calentamiento de combustión y un horno de calentamiento por resistencias eléctricas son: condiciones ambientales, seguridad, elasticidad de funcionamiento y precisión del proceso.
- Un horno eléctrico, mejora las condiciones ambientales, en las proximidades del horno y en el exterior de la fábrica.
- Mayor seguridad, por ser mínimos los problemas eléctricos que pueden presentarse y no existir peligro de explosión por fallo en los sistemas de combustión.
- El proceso de secado y barnizado nos ayuda a mejorar notablemente el nivel de aislamiento del motor, puesto que se elimina toda la humedad existente en el interior de las bobinas, y no permitirá que nuevamente ingrese humedad a las mismas.
- Con un correcto secado y barnizado (una vez seco el barniz), se logra que el nuevo arrollamiento quede más rígido y sin posibilidad de movimiento, y elevando tanto la resistencia mecánica, como la rigidez dieléctrica de los conductores.

- Se puede observar que la forma más rápida de calentar un estator es mediante la convección de la recirculación de aire forzado.
- La ventaja de utilizar un horno eléctrico de resistencias para el proceso de barnizado de las bobinas de un motor, es que en el horno el estator se halla libre de cualquier cuerpo extraño (agua, aire, polvo, etc.).
- Aunque los hornos eléctricos son más costosos que los hornos de combustión, los eléctricos son preferidos por la uniformidad de calentamiento y por la pureza que se mantiene durante el proceso térmico.
- Una de las ventajas que tiene un horno eléctrico en comparación con uno de combustión, es el grado de contaminación que producen.
- El espesor más económico de una capa de aislamiento térmico está determinado por aquellos factores que hacen disminuir la proporción de calor perdido al aumentar el espesor del aislante.
- Cuanto más frecuentes sean las interrupciones de trabajo del horno, más apreciables será las pérdidas de calor, si el trabajo es continuo, las pérdidas de calor son reducidas.

5.2 RECOMENDACIONES

- Para darle un buen uso y obtener un mejor rendimiento del horno, es recomendable poner en práctica todas las recomendaciones indicadas en el manual de operación.
- Se deberá tener cuidado que la temperatura del horno sea la correcta, caso contrario se podría quemar el material aislante del conductor de las bobinas.

- Para el proceso de secado del estator, existen otros métodos, los cuales no son recomendables, puesto que sobre ellos no se tiene un control preciso del proceso. Estos procesos son empíricos, no muy exactos y muy peligrosos, tanto para el motor como para la persona que realiza el rebobinado
- Una vez que se ha sacado toda la humedad, se tiene que esperar que baje la temperatura del estator, luego de esto se procederá a la impregnación del barniz a los bobinados, procurando que penetre en el interior de las bobinas, dejándolo escurrir por un espacio de tiempo de unos 15 minutos.
- Para el barnizado se deberá tomar muy en cuenta el tipo de barniz que se va a utilizar, puesto que si se utiliza un barniz muy viscoso, este tiene bajo poder de penetración en los bobinados y seca mal en profundidad.
- Para obtener un buen barnizado se procurara por todos los medios evitar que quede aire ocluido en los espacios internos de las bobinas
- Se deberá realizar un mantenimiento periódico del horno tanto en su parte mecánica como en la parte eléctrica, es recomendable hacerlo según indica el manual de operación.
- Cuando el horno tiene un fallo en el funcionamiento, que se requiera reparación interior, exige el enfriamiento del horno y la extracción de la carga interior.
- Un horno eléctrico tiene mayor posibilidad de encaje, dentro de las líneas de producción industrial, puesto que ocupa menos espacio, y su funcionamiento es de inmediato luego de haber sido energizado.

GLOSARIO DE TERMINOS UTILIZADOS

- **Abrasión.**_ Desgaste por fricción.
- **Acero al carbono.**_ Se define como acero estructural a lo que se obtiene al combinar el hierro, carbono y pequeñas proporciones de otros elementos tales como silicio, fósforo, azufre y oxígeno, que le contribuyen un conjunto de propiedades determinadas. El acero laminado en caliente, elaborado con fines estructurales, se le nombra como acero estructural al carbono.
- **Adsorptividad.**_ Tanto por uno de la energía radiante que al incidir sobre la carga, es absorbida.
- **Aleación niquel-cromo.**_ Esta aleación soporta temperaturas muy altas (1000° C), es resistivo (condición necesaria para generar calor), es muy resistente a los impactos y es inoxidable.
- **Aleación kanthal.**_ FeCrAl se caracterizan por alta resistencia y capacidad para soportar la carga de superficie. Pueden ser utilizados a la temperatura máxima de los elementos de 1425 °C (2600 °F).
- **Angulo estructural.**_ Producto de acero laminado en caliente cuya sección transversal está formada por dos alas de igual longitud, en ángulo recto.
- **Arcilla refractaria.**_ Materia prima para fabricación de productos refractarios aluminosos y siliciosos.
- **Astm.**_ Conocida originalmente como la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales, es una organización internacional, el ASTM 36 es un producto de calidad estructural diseñado para su uso en fabricaciones soldadas, atornilladas o remachadas como las plataformas petroleras, edificios y puentes.

- **Atmosfera protectora.**_ Mezcla de gases en el interior del horno para proteger la carga de la oxidación, descarburación, etc.
- **Barnizado.**_ Proceso de recubrimiento con barniz que frecuentemente se realiza en estufas de secado.
- **Bobina.**_ La bobina por su forma (espiras de alambre arrollados) almacena energía en forma de campo magnético.
- **Calcinación.**_ Proceso químico de descomposición de carbonatos (magnesita, caliza, etc.), desprendiendo CO_2 y obteniendo los óxidos metálicos; se realiza en hornos.
- **Calor específico.**_ Energía requerida para calentar $1^\circ C$ o K la unidad de masa del producto. Normalmente se expresa en kJ/kgK, aunque es frecuente también en Wh/kgK.
- **Carbonato de magnesio.**_ Producto aislante de media temperatura.
- **Conducción.**_ Forma de transmisión del calor por contacto entre moléculas, sin movimiento relativo de unas respecto de otras.
- **Conductividad térmica.**_ Característica λ de los cuerpos, fundamentalmente en el cálculo del calor transmitido por conducción. Se expresa en W/mk.
- **Contactores estáticos.**_ Estos contactores se construyen a base de tiristores. Estos presentan algunos inconvenientes como: Su dimensionamiento debe ser muy superior a lo necesario, la potencia disipada es muy grande, son muy sensibles a los parásitos internos y tiene una corriente de fuga importante además su costo es muy superior al de un contactor electromecánico equivalente.

- **Convección.**_ Forma de transmisión del calor típica de los fluidos, en la que, a la conducción por contacto entre moléculas, se suma el movimiento de las partículas por variación de densidad (convección natural) o por impulsión de ventiladores, bombas, etc. (convección forzada). Su coeficiente característico α se expresa en W/m^2K .
- **Corrosión.**_ Característica de algunos productos refractarios respecto al ataque de baños de metales fundidos, líquidos, gases, etc.
- **Creep.**_ Característica de los aceros refractarios y también de algunos productos cerámicos de soportar altas temperaturas sin alargamiento excesivo.
- **Densidad.**_ Masa de la unidad de volumen. Se denomina también masa específica. Se expresa normalmente en kg/m^3 .
- **Diatomita.**_ Producto aislante de media temperatura. Materia prima para fabricación de productos aislantes hasta 1200 °C.
- **Difusividad térmica.**_ Característica térmica de un cuerpo que indica la velocidad de penetración del calor en transmisión del calor por conducción, cuando el régimen de temperatura varía con el tiempo.
- **Emisividad total.**_ Característica de los cuerpos que indica el tanto por uno de la energía emitida por un cuerpo respecto a la de un cuerpo negro a la misma temperatura.
- **Esmaltado.**_ Proceso de recubrimiento de piezas o chapas metálicas con un polvo cerámico, que frita o sinteriza en hornos que operan a 800-900 °C.
- **Estator.**_ Esta parte de la máquina no se mueve y es la carcasa del motor.

- **Estufa.**_ Horno de baja temperatura con una construcción típica de tres caldererías: la exterior, la intermedia que soporta el aislamiento, y la interior que sirve de guiado para una correcta circulación de aire o gas.
- **Extrusión.**_ Proceso de obtención de perfiles metálicos, haciendo fluir tocho caliente a través de una matriz por medio de una prensa adecuada.
- **Fibras cerámicas.**_ Productos refractarios obtenidos por fusión en hornos de arco y posterior soplado o centrifugado.
- **Flujo calorífico.**_ Es la cantidad de calor transferida a través de una superficie por unidad de tiempo.
- **Fusión.**_ Proceso de paso de sólido a líquido.
- **Galvanómetro.**_ Aparato destinado a medir la intensidad y determinar el sentido de una corriente eléctrica.
- **Husillo.**_ Elemento mecánico en forma de rosca para transmitir movimiento a un torno, prensa, etc.
- **Incinerador.**_ Horno dedicado a la eliminación de productos por combustión controlada o incineración.
- **Lana mineral.**_ Producto obtenido por fusión de rocas, escorias y vidrio a baja temperatura y posterior soplado. Son semejantes en aspecto, forma de presentación, etc., a las fibras cerámicas, pero soportan temperaturas de trabajo mucho más bajas.
- **Llamas.**_ Productos de la combustión de los combustibles a la salida o en las proximidades del quemador.

- **Longitud característica.**_ Para una placa plana es la distancia al borde de ataque de la placa (ancho de la plancha).
- **Mantenimiento.**_ Fase del proceso en el interior del horno en que se mantiene la temperatura. Sin embargo, durante el mantenimiento a temperatura de la cámara del horno, la carga sigue subiendo de temperatura en su interior, por lo que, en ocasiones, se le denomina período de empapado, en lugar de mantenimiento.
- **Mufla.**_ Es el más sencillo de los hornos; se denomina mufla a la cámara interior del horno, normalmente de forma paralelepípedica alargada.
- **Número de GRASHOF (Gr).**_ Representa la relación que existe entre las fuerzas de empuje y las fuerzas viscosas que actúan sobre el fluido. Es un indicativo del régimen de flujo en convección natural, equivalente al número de Reynolds en convección forzada.
- **Número de NUSSELT (Nu).**_ Representa la relación que existe entre el calor transferido por convección a través del fluido y el que se transferiría si sólo existiese conducción.
- **Número de PRANDTL (Pr).**_ Representa la relación que existe entre la difusividad molecular de la cantidad de movimiento y la difusividad molecular del calor o entre el espesor de la capa límite de velocidad y la capa límite térmica.
- **Potenciómetro.**_ Un potenciómetro es un resistor cuyo valor de resistencia es variable.
- **Puente térmico.**_ Elemento constructivo de mayor conductividad térmica que los materiales próximos y da lugar, por tanto, a unas pérdidas de calor adicionales.

- **Radiación térmica.**_ Energía emitida por los cuerpos a temperatura superior a 0 K. En la mayoría de los hornos de resistencia eléctrica el calentamiento se realiza por radiación térmica.

- **Régimen estacionario o permanente.**_ Donde la temperatura de los cuerpos que intervienen en la transferencia de calor permanece constante en el tiempo.

- **Régimen variable.**_ Donde la temperatura varía con el tiempo

- **Regulación.**_ Control de una variable en el interior de un horno. La más frecuente es la temperatura, pero pueden ser: la presión, un componente de la atmosfera, el potencial de carbono, etc.

- **Rendimiento térmico.**_ Relación existente entre el trabajo producido y el calor absorbido.

- **Resistencia eléctrica.**_ Se refiere al elemento del interior del horno que se calienta por efecto Joule al aplicar una tensión eléctrica adecuada. Las resistencias pueden ser de alambre, de pletina, etc., dispuestas en tubos radiantes o blindadas de comercio.

- **Resistividad eléctrica.**_ Característica del material de la resistencia, variable con la temperatura. Es fundamental en el cálculo de las resistencias de un horno.

- **Secadero.**_ Horno dedicado a procesos de secado. Es muy frecuente el empleo de circulación forzada de aire.

- **Set point.**_ Es cualquier punto de ajuste de alguna variable de un sistema de control automático. Puede ser: Nivel; presión, temperatura; desplazamiento; rotación; etc.
- **Silicato cálcico.**_ Producto aislante no refractario para temperaturas hasta 1100 °C.
- **Sílice.**_ Materia prima para la fabricación de productos refractarios siliciosos, normalmente a partir de cuarcita.
- **Silimanita.**_ Materia prima para la fabricación de productos refractarios aluminosos.
- **Sinterizado.**_ Proceso de aglomeración de polvos metálicos con los aditivos adecuados, realizado normalmente en hornos de alta temperatura.
- **Solera.**_ Parte inferior de la cámara del horno.
- **Transferencia de calor.**_ Es el intercambio de energía calorífica.
- **Tratamiento térmico.**_ Denominación general de los hornos dedicados a estos procesos, netamente diferenciados de los de fusión y de calentamiento previo a la deformación plástica.
- **Tubo radiante.**_ Elemento de calefacción tubular frecuentemente empleado en hornos de atmosfera controlada. En el interior del tubo se disponen las resistencias de calentamiento o pasan los humos de combustión de un quemador situado en un extremo del tubo, fuera del interior del horno.
- **Válvulas motorizadas.**_ Se utilizan para control de caudal en sistemas de calefacción y refrigeración en aplicaciones domesticas y comerciales.

- **Válvulas neumáticas.**_ Las válvulas son dispositivos utilizados para controlar la presión o flujo en un circuito neumático.

- **Ventilador.**_ Componente mecánico para impulsar aire o gases en el interior de los hornos de resistencias. Se clasifican en axiales y centrífugos. Estos a su vez, por el tipo de rodete, en: de paletas radiales, curvadas hacia delante, curvadas o rectas hacia atrás.

- **Voluta.**_ Forma de espiral o caracol.

- **Vulcanizado.**_ Tratamiento térmico de gomas y similares que en muchos casos se realiza en hornos y siempre requiere dispositivos de calentamiento.





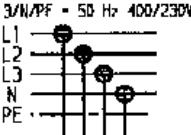





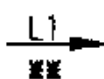
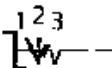
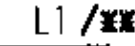
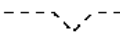
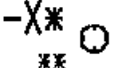

BIBLIOGRAFÍA

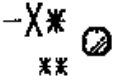

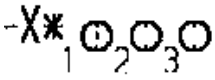

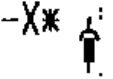

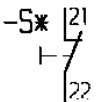
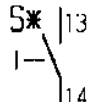
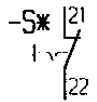
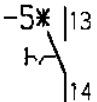
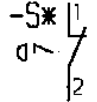
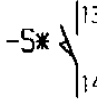
- ❖ JOSÉ A. MANRIQUE. (1980). Transferencia de Calor. Editorial TEC-CIEN. México.
- ❖ FRANK P. INCROPERA, DAVID P. DEWITT. Cuarta Edición. Fundamentos de transferencia de Calor. Editorial PRENTICE HALL.
- ❖ BASKAKOV A. P. (1985). Termotecnia. Editorial MHIN. Moscú. Traducido por G. LOZHKIN.
- ❖ JULIO ASTIGARRAGA URQUIZA. (1998). Hornos Industriales de Resistencias. Editorial Nomos S.A. octubre. Colombia.
- ❖ CALAMARI, HELIO C.
- ❖ VALENCIA G. GABRIEL F. (1980). Estructuras Metálicas. Editorial IBERCROLA. México.
- ❖ JACOME Fernando (2004) Apuntes de Instrumentación Industrial.
- ❖ POSSO, Carlos (2003) Apuntes de Análisis de Fluidos
- ❖ ANGULO SANCHES, Pablo, (1990). Control Industrial. EPN Facultad de Ingeniería eléctrica.
- ❖ <http://www.eneayudas.cl/calorentrada.html#calor>.
- ❖ <http://www.maloka.org/f2000/index.html>.
- ❖ <http://www.lightink.com/sergey/java/java/atomphoton/indox/html>.

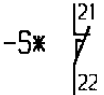
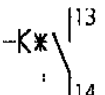
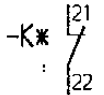
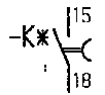
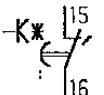
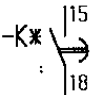
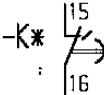
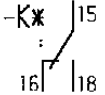
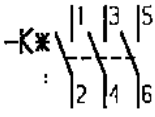
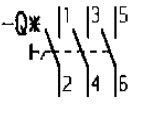
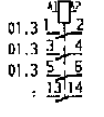
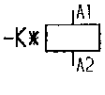
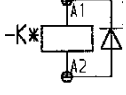
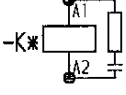
- ❖ <http://www.tecnoaplicadas.com/dielectricos/pagina/dielectricos.html>.
- ❖ <http://www.wikipedia.org/wiki/humedad#searchinput/#searchinput.html>.
- ❖ http://www.bakerimst.com/bakerweb/company/sales_contact.html.
- ❖ <http://www.tecnoaplicadas.com/index.html>.

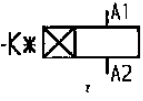
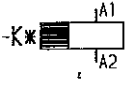

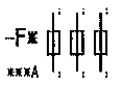

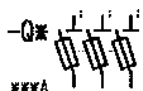

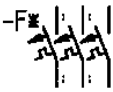

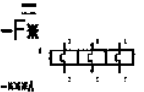
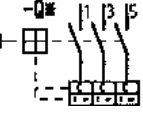





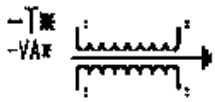

ANEXO 1 SÍMBOLOS ELÉCTRICOS

SIMBOLOS DE CONMUTACION ELECTRICA			
	Línea General		Accionamiento manual general
	Conductor de protección		Accionamiento manual pulsante
	Conexión a la red conductor neutro N		Accionamiento manual con giro
	Conexión conductiva insoluble		Accionamiento manual con giro de llave tubular
	Toma de tierra general		Accionamiento manual paro de emergencia
	Señal		Accionamiento manual con giro con marcación de posición
	Referencia transversal		Muesca
	Borne en fila		Retardo en caso de movimiento hacia la derecha

	<p>Borne en fila para grupos constructivos</p>		<p>Retardo en caso de movimiento hacia la izquierda</p>
	<p>Borne en fila para conexión de motor corriente trifásica</p>		<p>Retardo en caso de movimiento hacia la derecha e izquierda</p>
	<p>Conexión de enchufe en buje de clavija y clavija</p>		<p>Conexión de enchufe tripolar</p>
	<p>Pulsador, contacto de apertura accionamiento manual</p>		<p>Pulsador, contacto de cierre accionamiento manual</p>
	<p>Interruptor contacto de apertura accionamiento manual</p>		<p>Interruptor contacto de cierre accionamiento manual</p>
	<p>Paro de emergencia contacto de apertura accionamiento manual</p>		<p>Pulsador limite contacto de cierre accionamiento mecánico</p>

	Pulsador limite contacto de cierre accionamiento mecánico		Relé contactor contacto de cierre
	Relé contactor contacto de abertura		Contactor de rele de tiempo contacto de cierre, cierra retardada mente
	Contactor de rele de tiempo contacto de abertura, abre retardadamente		Contactor de rele de tiempo, contacto de cierre, cierra enseguida y abre retardadamente
	Contactor de rele de tiempo, contacto de abertura, abre enseguida y cierra retardadamente		Contactor del contacto de abertura y cierre
	Rele contactor para motores		Interruptor principal
	Rele con referencia transversal		Bobina de contactor (accionamiento electromecánico)
	Bobina de contactor con diodo de extinción (accionamiento electromecánico)		Bobina de contactor con circuito RC (accionamiento electromecánico)

	<p>Rele de tiempo con cierre retardado (accionamiento electromecánico) on delay</p>		<p>Rele de tiempo con abertura retardado (accionamiento electromecánico) off delay</p>
	<p>Fusible general</p>		<p>Fusible tripolar</p>
	<p>Interruptor de fusible</p>		<p>Interruptor de fusible tripolar</p>
	<p>Autómata de fusible con corriente de sobre intensidad y liberación de cortocircuito</p>		<p>Autómata de fusible con corriente de sobre intensidad y liberación de cortocircuito tripolar</p>
	<p>Rele protector de motor, circuito de mando</p>		<p>Rele protector de motor, circuito de fuerza</p>
	<p>Rele protector de motor con corriente de sobre intensidad y liberación de cortocircuitos</p>		<p>Conexión en estrella</p>
	<p>Conexión en triangulo</p>		<p>Conexión estrella-triangulo</p>

	Transformador dos bobinados separados		Motor trifásico de 3 terminales
---	---------------------------------------	--	---------------------------------

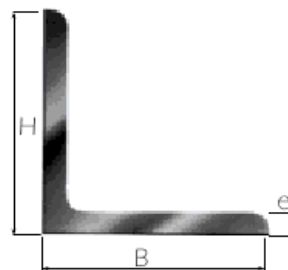
ANEXO 2 ÁNGULOS ESTRUCTURALES

Ángulos Estructurales L-AZA®

Los ángulos estructurales L-AZA, son productos cuyas alas son iguales y forman un ángulo de 90° entre sí. Este perfil después de ser laminado es enderezado en frío.

Especificaciones generales

Calidades normales: Comercial, A37-24ES, A42-27ES, A52-34ES y ASTM A36-93a.



Dimensiones, Pesos y Secciones Normales

Dimensiones H x B x e	Masa	Sección
mm x mm x mm	kg/m	cm ²
20 x 20 x 3	0,879	1,12
25 x 25 x 3	1,12	1,43
25 x 25 x 5	1,78	2,27
30 x 30 x 3	1,36	1,74
30 x 30 x 5	2,18	2,78
40 x 40 x 3	1,84	2,35
40 x 40 x 4	2,42	3,08
40 x 40 x 5	2,97	3,79
40 x 40 x 6	3,52	4,48
45 x 45 x 3	2,07	2,61
45 x 45 x 4	2,73	3,44
45 x 45 x 5	3,37	4,25
45 x 45 x 6	4,00	5,04
50 x 50 x 3	2,33	2,96
50 x 50 x 4	3,06	3,89
50 x 50 x 5	3,77	4,80
50 x 50 x 6	4,47	5,69
65 x 65 x 5*	4,97	6,34
65 x 65 x 6*	5,91	7,53
65 x 65 x 8*	7,73	9,85
65 x 65 x 10*	9,49	12,1
80 x 80 x 6*	7,34	9,35
80 x 80 x 8*	9,63	12,3
80 x 80 x 10*	11,9	15,1
80 x 80 x 12*	14,0	17,9
100 x 100 x 6**	9,26	11,8
100 x 100 x 8**	12,2	15,5
100 x 100 x 10**	15,0	19,2
100 x 100 x 12**	17,8	22,7

* Perfiles se suministran en la calidad ASTM A36-93a ó A42-27ES

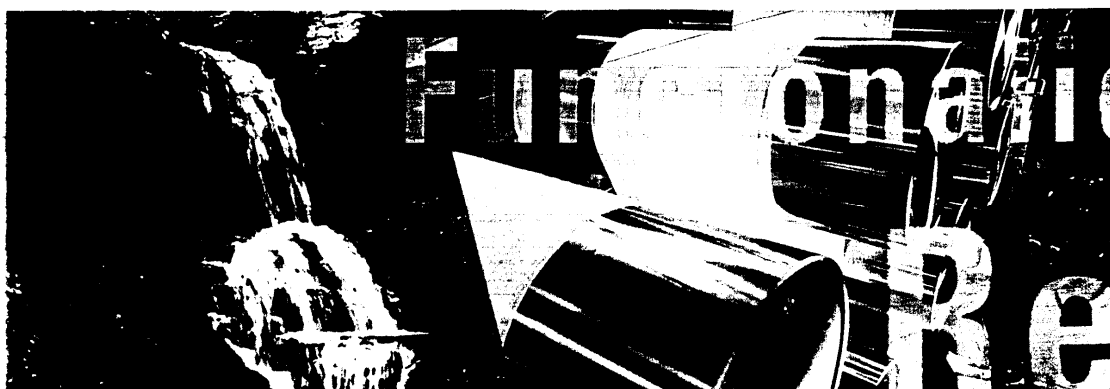
** Sólo en la calidad ASTM A36-93a, estos productos son de origen importado.

ANEXO 3

DIMECIONES Y PESO DE MOTORES ELECTRICOS

Velocidad 3600 rpm (2 polos)

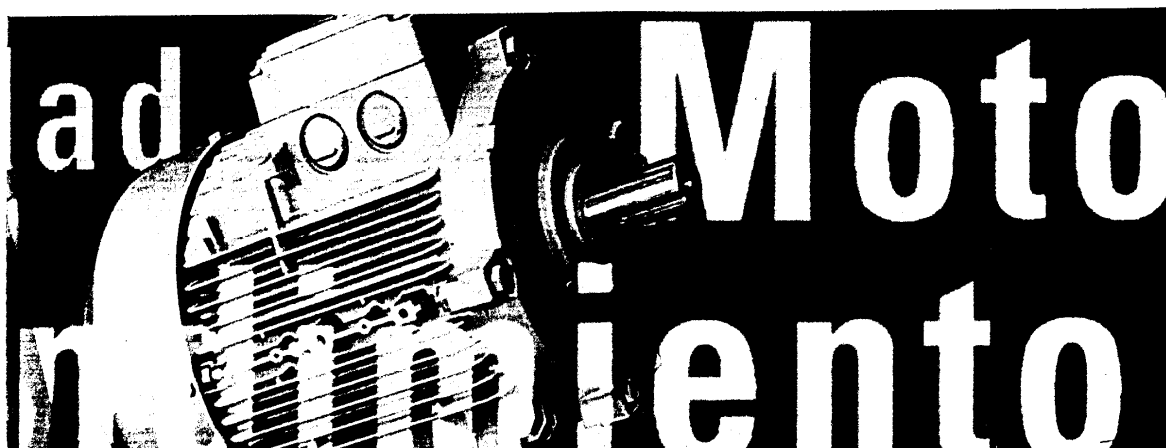
Código Actual	Código Antiguo	Tipo	Frame IEC	HP	kW	F.S.	In a		rpm	Eficiencia η %	Torque nominal Nm	Momento de inercia de Kg m ²	Torque de arranque de Tn	Intensidad de In	Peso aprox. kg
							220 V Amp.	440 V Amp.							
01083	836273	1LA7 070-2YA60	71	0.75	0.56	1.15	2.40	1.20	3430	79.0	1.56	0.00035	2.7	6.0	4.3
01084	836290	1LA7 072-2YA60	71	0.90	0.67	1.05	3.20	1.60	3320	66.0	1.93	0.00035	2.3	4.9	6.0
01085	836274	1LA7 073-2YA60	71	1.00	0.75	1.15	3.50	1.75	3320	65.0	2.20	0.00045	2.5	4.7	6.0
01086	836201	1LA7 080-2YC60	80	1.20	0.90	1.05	4.00	2.00	3400	68.0	2.51	0.00085	2.3	4.9	8.4
01087	836276	1LA7 080-2YA60	80	1.50	1.12	1.15	5.30	2.65	3370	69.0	3.17	0.00085	1.8	3.7	8.4
01088	836202	1LA7 082-2YA60	80	1.80	1.34	1.05	5.80	2.90	3450	72.4	3.72	0.0011	2.1	5.3	10.0
01089	836278	1LA7 083-2YA60	80	2.00	1.50	1.15	6.20	3.10	3410	74.0	4.18	0.0011	3.3	6.3	10.0
01090	836203	1LA7 090-2YC60	90	2.40	1.79	1.05	7.00	3.50	3460	79.0	4.94	0.0015	2.4	5.5	11.7
01091	836279	1LA7 090-2YA60	90	3.00	2.20	1.15	9.00	4.50	3490	76.0	6.12	0.0015	2.7	5.7	13.7
01092	836204	1LA7 094-2YA60	90	3.60	2.70	1.05	10.80	5.40	3460	79.0	7.41	0.0020	2.7	6.0	14.9
01093	836281	1LA7 096-2YA60	90	4.00	3.00	1.15	12.20	6.10	3440	82.0	8.20	0.0020	2.3	5.9	15.0
01094	836206	1LA7 112-2YA60	112	5.00	3.73	1.15	16.00	8.00	3480	71.1	10.24	0.0055	2.0	5.2	28.0
01095	836207	1LA7 113-2YA60	112	6.60	4.92	1.05	19.00	9.50	3480	79.0	13.51	0.0055	2.6	6.8	30.8
01096	836283	1LA7 114-2YA60	112	7.50	5.60	1.15	21.80	10.90	3500	77.4	15.27	0.0055	2.0	5.8	33.4
01097	836284	1LA7 130-2YA70	132S/M	10.00	7.50	1.15	28.00	14.00	3520	79.0	20.50	0.016	2.4	6.0	50.0
01098	836212	1LA7 131-2YA70	132S/M	12.00	9.00	1.05	32.00	16.00	3525	80.0	24.60	0.021	2.7	6.8	52.5
01099	836285	1LA7 132-2YA70	132S/M	15.00	11.20	1.15	41.00	20.50	3520	80.5	30.70	0.021	2.0	6.5	56.5
01100	836286	1LA5 163-2YB70	160M/L	20.00	14.90	1.05	53.00	26.50	3528	87.0	40.39	0.034	2.0	6.0	69.5
01101	836224	1LA5 164-2YB70	160M/L	25.00	18.70	1.15	70.00	35.00	3530	88.0	50.46	0.040	2.1	5.0	82.5
01102	836230	1LA5 167-2YB70	160M/L	30.00	22.40	1.05	81.00	40.50	3540	90.0	60.38	0.052	2.1	4.6	94.0
Motores de alta eficiencia (Eficiencias superiores aE-P Act.															
01103	856235	1LA4 183-2YC80	180M	35	26.1	1.05	87	43.5	3540	89.0	70.44	0.077	2.5	6.6	160.5
01104	856242	1LA4 184-2YA80	180M	40	29.8	1.05	102	51.0	3510	90.5	81.19	0.077	2.3	6.4	162.0
01105	856248	1LA4 206-2YC80	200L	50	37.3	1.15	124	62.0	3530	90.0	100.91	0.14	2.4	6.6	235.0
01106	856250	1LA4 207-2YA80	200L	60	44.5	1.15	148	74.0	3545	91.0	120.58	0.16	2.4	6.5	260.0
01107	856275	1LA6 224-2YC80	225M	75	55.5	1.15	188	94.0	3540	93.4	150.94	0.24	1.8	6.8	320.0

Importante. Garantice la protección efectiva de su motor con el equipo de maniobra Siemens.

Velocidad 1800 rpm (4 polos)

Código Actual	Código Antiguo	Tipo	Frame IEC	HP	kW	F.S.	In a		rpm	Eficiencia η %	Torque nominal Nm	Momento de inercia Kg m ²	Torque de arranque como fac. de Tn	Intensidad de In de In	Peso aprox. kg
							220V Amp.	440V Amp.							
01108	836440	1LA7 070-4YC60	71	0.40	0.29	1.05	1.6	0.80	1640	66.0	1.74	0.0006	1.8	2.8	4.7
01109	836472	1LA7 070-4YA60	71	0.50	0.37	1.15	1.9	0.95	1590	66.0	2.20	0.0006	1.3	2.7	5.5
01110	836460	1LA7 071-4YA60	71	0.60	0.45	1.05	2.2	1.10	1645	69.0	2.60	0.0008	1.8	3.4	6.0
01111	836473	1LA7 073-4YA60	71	0.75	0.56	1.15	2.9	1.45	1650	65.0	3.30	0.0008	1.9	3.7	6.0
01112	836490	1LA7 080-4YC60	80	0.90	0.67	1.05	3.1	1.55	1675	68.0	3.83	0.0015	2.3	4.4	8.1
01113	836474	1LA7 080-4YA60	80	1.00	0.75	1.15	3.5	1.75	1660	69.2	4.29	0.0015	1.9	3.7	8.1
01114	836401	1LA7 081-4YA60	80	1.20	0.90	1.05	4.0	2.00	1675	70.0	5.10	0.0018	2.2	3.7	9.3
01115	836476	1LA7 083-4YA60	80	1.50	1.12	1.15	5.0	2.5	1650	72.0	6.48	0.0018	1.8	3.0	9.3
01116	836402	1LA7 090-4YC60	90	1.80	1.34	1.05	6.4	3.2	1700	77.0	7.54	0.0028	2.4	5.2	11.9
01117	836478	1LA7 090-4YA60	90	2.00	1.50	1.15	7.0	3.5	1700	77.0	8.38	0.0028	2.2	4.4	12.1
01118	836403	1LA7 094-4YA60	90	2.40	1.79	1.05	7.4	3.7	1690	77.0	10.12	0.0035	2.0	4.5	14.9
01119	836479	1LA7 096-4YA60	90	3.00	2.20	1.15	9.6	4.8	1708	79.0	12.51	0.0035	1.8	3.6	14.9
01120	836404	1LA7 111-4YA60	112	4.00	3.00	1.15	13.0	6.5	1750	76.3	16.28	0.0048	2.2	5.6	27.1
01121	836406	1LA7 112-4YA60	112	5.00	3.73	1.15	15.8	7.9	1750	80.5	20.36	0.0058	2.3	6.5	28.7
01122	836407	1LA7 113-4YA60	112	6.60	4.92	1.05	19.6	9.8	1745	78.0	26.95	0.011	2.0	6.0	31.0
01123	836483	1LA7 114-4YA60	112	7.50	5.60	1.15	23.2	11.6	1740	80.0	30.71	0.011	2.2	5.6	32.7
01124	836484	1LA7 131-4YA70	132S/M	10.00	7.50	1.15	28.8	14.4	1750	81.0	41.50	0.018	2.3	6.0	46.5
01125	836412	1LA7 133-4YA70	132S/M	12.00	9.00	1.05	34.0	17.0	1750	81.2	49.50	0.024	2.5	6.6	49.0
01126	836485	1LA7 134-4YA70	132S/M	15.00	11.2	1.15	43.0	21.5	1750	82.5	62.00	0.024	1.8	5.0	62.0
01127	836486	1LA5 164-4YB70	160 M/L	20.00	14.9	1.15	53.0	26.5	1760	85.0	80.96	0.040	1.8	6.3	77.5
01128	836487	1LA5 167-4YC70	160 M/L	25.00	18.7	1.15	64.0	32.0	1755	89.0	101.5	0.052	1.8	5.4	85.5
Motores de alta eficiencia (Eficiencias superiores a E- P Act.)															
01129	856431	1LA4 183-4YA80	180M	30	22.4	1.05	78	39.0	1755	90.7	121.8	0.13	2.0	4.9	170
01130	856436	1LA4 186-4YA80	180L	36	26.8	1.05	93	46.5	1760	91.3	146.7	0.15	2.8	6.8	190
01131	856440	1LA4 187-4YA80	180L	40	29.8	1.05	104	52.0	1750	91.3	162.8	0.15	2.0	5.6	190
01132	856448	1LA4 207-4YC80	200L	50	37.3	1.15	126	63.0	1760	91.3	202.4	0.24	2.7	6.8	250
01133	856450	1LA6 220-4YA80	225S	60	44.5	1.15	148	74.0	1765	96.2	242.2	0.44	2.7	6.6	314
01134	856475	1LA6 224-4YC80	225M	75	56.0	1.15	188	94.0	1780	92.7	300.2	0.52	2.0	5.1	321

Importante. Garantice la protección efectiva de su motor con el equipo de maniobra Siemens.



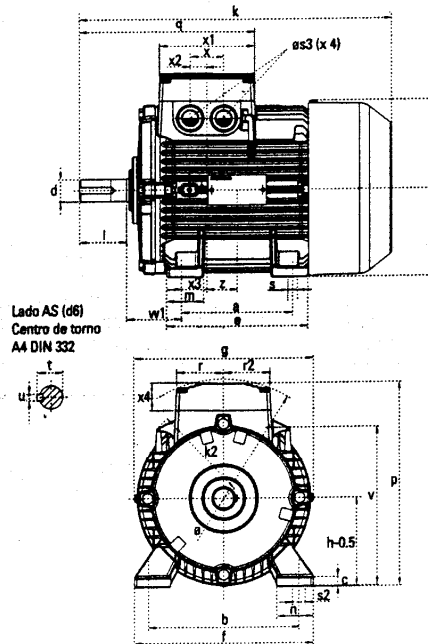
Medidas para montaje

Medidas para montaje (dimensiones en mm)

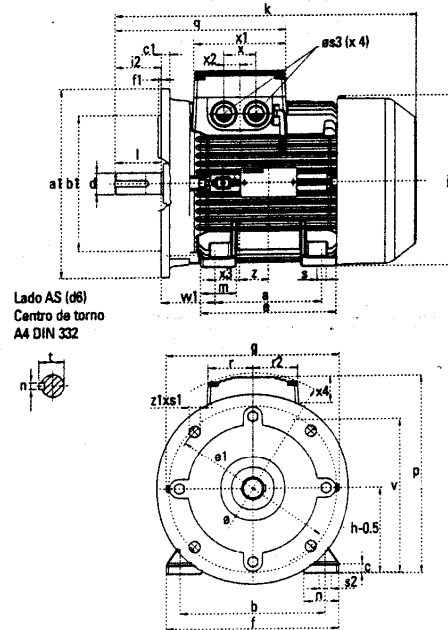
Motor tamaño	Medidas comunes (IM B3, IM B5)					medidas de la forma constructiva IM B3										Medidas de la forma constructiva IM B5 / IM B35					
	l	d	t	u	g	g ₁	p/p ₂	k	a	b	h	w ₁	s	e	f	a1	b1	c1	e1	f1	s1
071	30	14	16.1	5	148	-	178.5	240	90	112	71	45	7	107.5	132	160	110	5.5	130	3.5	10.5
080	40	19	21.5	6	163	-	193.5	273.5	100	125	80	50	9.5	119.5	150	200	130	8	165	3.5	13
090 S	50	24	26.9	8	181	-	211.5	331	100	140	90	56	10	114.5	165	200	130	7	165	3.5	13
090 L	50	24	26.9	8	181	-	211.5	331	125	140	90	56	10	144.5	165	200	130	7	165	3.5	13
112 M	60	28	31.0	8	227	-	260	393	140	190	112	70	12	176	226	250	180	11	215	4	14.5
132 S	80	38	41.3	10	264.5	-	315	481	140	216	132	89	12	1218	256	300	230	14	265	4	15
132 M	80	38	41	10	266	-	299	491	178	216	132	89	12	218	226	300	230	12	265	4	4.5
160 M	110	42	45.0	12	320	-	365.5	629	210	254	160	109	15	300	300	350	250	20	300	5	18
160 L	110	42	45.0	12	320	-	365.5	629	254	254	160	109	15	300	300	350	250	20	300	5	18
180 M	110	48	51.5	14	357	499	410	653	241	279	180	121	16	301	339	350	250	13	300	5	18
180 L	110	48	51.5	14	357	499	410	691	279	279	180	121	16	339	339	350	250	13	300	5	18
200 L	110	55	59.0	16	403	534	460	743	305	318	200	133	20	385	398	400	300	15	350	5	18
225 S	*140	*60	*64	18	447	-	569	*830	286	356	225	149	19	361	436	450	350	16	400	5	17.5
225 M	*140	*60	*64	18	447	-	569	*830	311	356	225	149	19	361	436	450	350	16	400	5	17.5

Tamaños 71 a 160

Ejecución IM B3

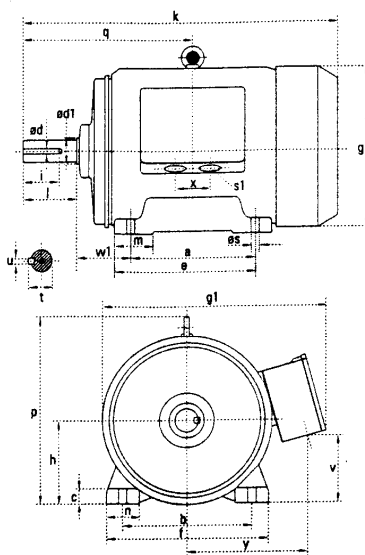


Ejecución IM B35

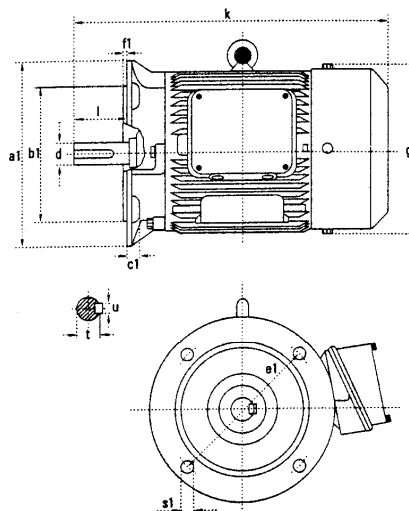


Tamaños 180 a 200

Ejecución IM B3

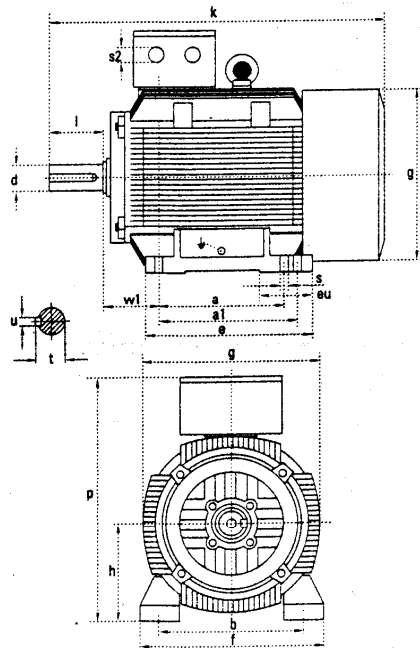


Ejecución IM B5

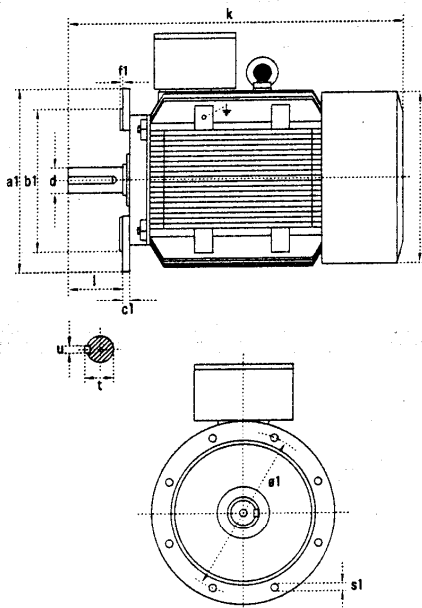


Tamaño 225

Ejecución IM B3



Ejecución IM B5

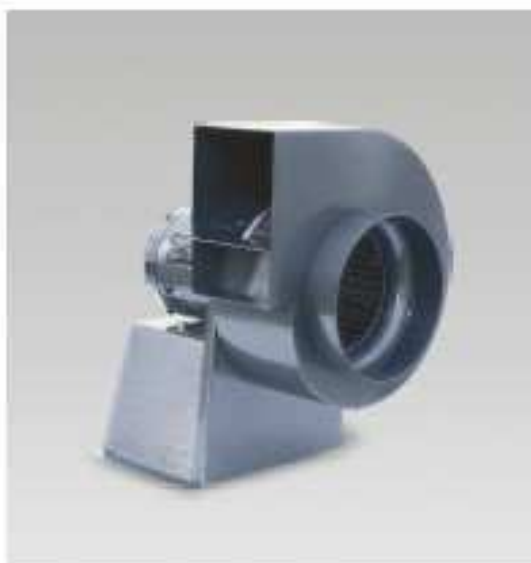


* Para motores de dos polos cambian las siguientes medidas:
 Tamaño constructivo 225 M: l=110; d=55; t=59; u=16 mm.; k=800..... Tamaño constructivo 250 M: d=60; t=64..... Tamaño constructivo 280 S: d=65; t=69; u=18 mm.

ANEXO 4

VENTILADORES CENTRIFUGOS

CEB-T

EXTRACTORES CENTRIFUGOS S&P
800, 1200, 2000, 2600, 4000, 5000, 6000 m³/h

La serie CEB-T es una gama de extractores centrifugos de simple oído de aspiración, con turbina de alabes curvos adelantados y motor directamente acoplado.

Dentro de una construcción ligera pero robusta y una óptima relación entre consumo y prestaciones, esta serie destaca por su gran versatilidad al disponer de siete modelos con cuatro alternativas en la posición de descarga en cada uno.

Características Principales

Carcasa en acero electrosoldado, acabado en pintura en polvo poliéster horneada de gran resistencia a la corrosión, boca de descarga en cuatro posiciones con brida opcional.

Aplicaciones

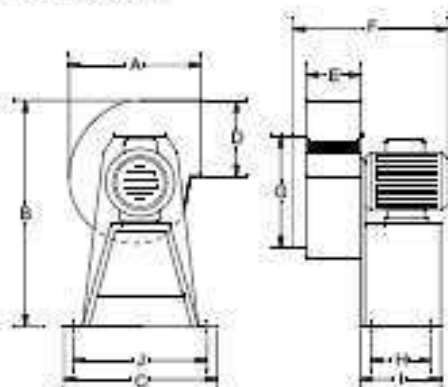
Instalaciones en sistemas de ventilación, extracción, calefacción y acondicionamiento de aire.

Impulsión de aire dentro de conductos, refrigeración de máquinas industriales, etc.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Modelo	Velocidad R.P.M.	Potencia H.P.	Intensidad máxima (A)			Caudal de carga libre m ³ /hr	Nivel Sonoro dB(A)*	Peso aprox. Kg
			400 V	220 V	127 V			
CEB-800	1550	1/30	-	-	0,9	800	53	5,5
CEB-1200	1525	1/10	-	-	1,35	1200	56	6,0
CET-B 2000	1725	1/2	1,0	2,0 / 5,0	11,0	1900	60	10,5
CET-B 2600	1725	3/4	1,5	3,3 / 6,3	13,1	2600	63	25,0
CET-4000	1725	1 1/2	2,9	5,8	-	3650	72	28,0
CET-5000	1725	2	3,7	7,4	-	5200	75	32,0
CET-6000	1725	3	5,1	10,2	-	6500	80	33,5

*Nivel sonoro medido de acuerdo a norma 30095 AMCA y 30196.

DIMENSIONES

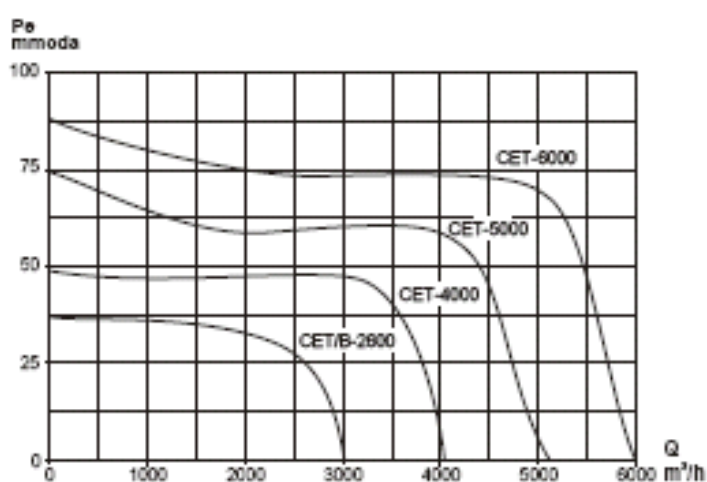
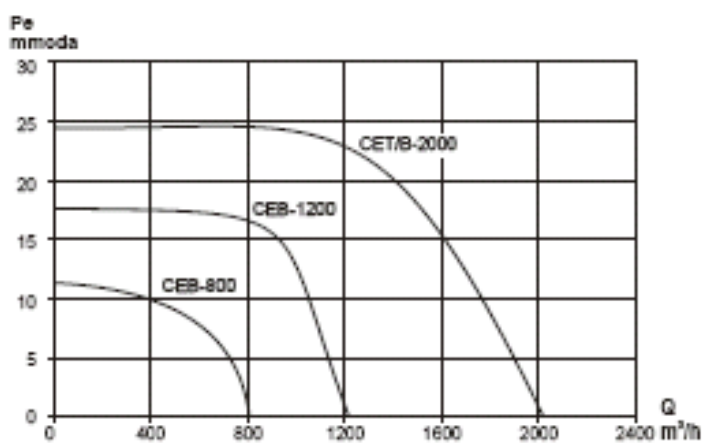
Modelo	DIMENSIONES mm									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
CEB-800	274	400	265	146	67	220	155	80	100	274
CEB-1200	290	420	300	170	105	240	160	72	100	262
CET-B 2000	320	433	290	165	125	300	165	110	165	280
CET-B 2600	380	460	305	216	149	410	216	135	230	300
CET-4000	454	570	366	145	173	470	250	132	235	328
CET-5000	490	604	366	296	188	500	252	130	240	360
CET-6000	560	770	613	300	208	552	330	135	278	465

CEB-T

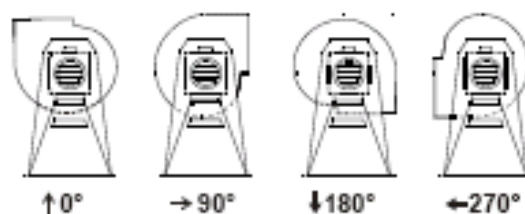
EXTRACTORES CENTRIFUGOS S&P
800, 1200, 2000, 2600, 4000, 5000, 6000 m³/h



CURVAS CARACTERISTICAS



ORIENTACIÓN BOCA DE DESCARGA (CW)



ANEXO 5 RELACIÓ cm^2/Ω

I = current, C_t = temperature factor, p = surface load, W/cm^2 , regarding the use of cm^2/Ω see also page 52

	°C	20	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400
Kanthal A-1	C_t	1	1	1	1	1	1,01	1,02	1,02	1,03	1,03	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04

the table figures are valid for kanthal a-1

diameter mm	Resistanc $\Omega/\text{m } 20^\circ\text{C}$	cm^2/Ω 20°C	weigh per length g/m	surface cm^2/m	cross cm^2/m	diameter mm
9,5	0,0205	14600	503	298	70,9	9,5
8,0	0,0288	8710	357	251	50,3	8,0
7,5	0,0328	7480	314	236	44,2	7,5
7,0	0,0377	5840	273	220	38,5	7,0
6,5	0,0437	4670	236	204	33,2	6,5
6,0	0,0513	3680	201	188	28,3	6,0
5,5	0,0610	2830	169	173	23,8	5,5
5,0	0,0738	2130	139	157	19,6	5,0
4,8	0,0801	880	128	151	18,1	4,8
4,5	0,0912	1550	113	141	15,9	4,5
4,2	0,1050	1260	98,4	132	13,9	4,2
4,0	0,1150	1090	89,2	126	12,6	4,0
3,8	0,1280	934	80,5	119	11,3	3,8
3,5	0,1510	730	68,3	110	9,6	3,5
3,2	0,1800	558	57,1	101	8,0	3,2
3,0	0,2050	459	50,2	94,2	7,1	3,0
2,8	0,2350	374	43,7	88,0	6,2	2,8
2,5	0,2950	266	34,9	78,5	4,9	2,5
2,2	0,3810	181	27,0	69,1	3,8	2,2
2,0	0,4620	136	22,3	62,8	3,1	2,0
1,9	0,5110	117	20,1	59,7	2,8	1,9
1,8	0,5700	99,2	18,1	56,5	2,5	1,8
1,7	0,6390	83,6	16,1	53,4	2,3	1,7
1,6	0,7210	69,7	14,3	50,3	2,0	1,6
1,5	0,8210	57,4	12,5	47,1	1,8	1,5
1,4	0,9420	46,7	10,9	44,0	1,5	1,4
1,3	1,0900	37,4	9,42	40,8	1,33	1,3
1,2	1,2800	29,4	8,03	37,7	1,13	1,2
1,1	1,5300	22,6	6,75	34,6	0,95	1,1
1,0	1,8500	17,0	5,58	31,4	0,79	1,0

ANEXO 6

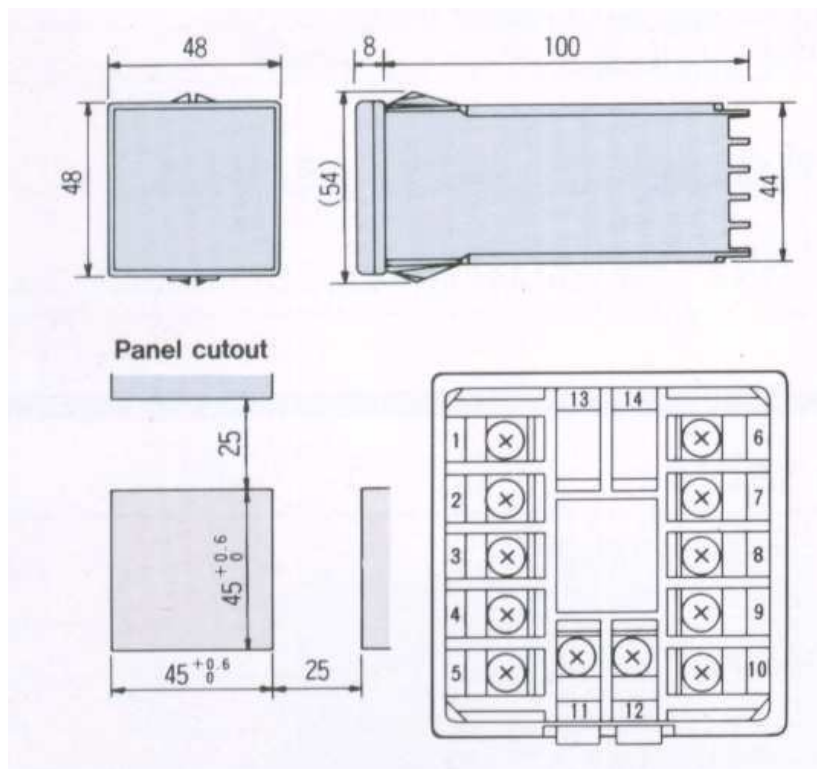
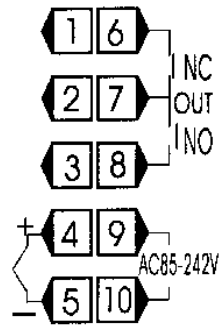
CONTROLADOR DE TEMPERATURA XMTG CJ **CONTROLADOR DE TEMPERATURA DIGITAL (XMTG CJ)**

La instrucción del funcionamiento XMTG el ajustador de temperatura digital puede combinarse con termocuplas de diversas clases, para dar una medición automática y encima de la temperatura. Los ajustadores sirven en eso por la indicación de distancia de medida entera y el rango regular lleno. El ajustador es tiempo el método proporcional. Los ajustadores tienen funciones del fin frío la compensación automática y protección de la pareja-rotura. Los ajustadores están bueno-pareciendo de moda, fáciles para el uso, barato en el precio, proporcionando una comparabilidad relativamente alta entre la actuación y muy precia, ampliamente se usa en la maquinaria plástica, condensando las máquinas, comida-procesando la maquinaria así como la luz industrial, textil que imprime e industrias del tinte que requieren el mando en la temperatura.

A. la especificación técnica:

1. la entrada: J
2. El rango: 0 399 °C
3. La exactitud: despliegue menos entonces
4. avise la capacidad: 220 VAC, 7 UN (capacidad de carga)
5. Impulse el voltaje: 85 CA 242 V
6. Clasifique según tamaño 48x48x100mm; El agujero de la instalación: 45x45mm
7. El ambiente: la temperatura: 0 50 °C; la humedad: menos entonces 85%

B. Conexión Esquema:



C. El método para usar:

El ajustador se instala en un agujero de la instalación con un marco, los módulos de la instalación eléctrica en la parte de atrás la fase es 85 AC 242 CA entrada para proporcionar energía al instrumento son los pines 9,10. La entrada para la termocupla son los pines. 4,5. los pines de mando de parada. "6" son más altos, "7" son generales, "8" son más bajo. 9,10 pines son AC85 242 V. cuando el temperatura-escena es más alto que el valor indicado, los voltajes generales y más bajo se conectan, mientras los voltajes generales y más altos están desconectados con bombilla del indicador verde que se ilumina; la escena es más

bajo que la indicación real, los voltajes generales y más bajo son desconecte y los voltajes más general-altos que apagan se conectan con el verde.

LA NOTA: la unidad debe montarse fuera de la vibración, impactos, agua y gases corrosivos. Aplique el silicone (o empaquetadura de caucho) alrededor del perímetro del agujero para prevenir el goteo.

Inserte la unidad en el agujero de tablero.

Quite la contraportada para alambrar la unidad

Alambrando el instrumento, pegue el diagrama de conexiones en la puerta del tablero.

ANEXO 7

CAPACIDAD DE CONDUCTORES ELECTRICOS

INTENSIDAD DE CORRIENTE ADMISIBLE PARA CONDUCTORES DE COBRE (SECCIONES AWG)								
AISLADOS TEMPERATURA DE SERVICIO: 60° 75° 90°C								
SECCION	SECCION	GRUPO A			GRUPO B			DESNUDO
		TEMPERATURA DE SERVICIO			TEMPERATURA DE SERVICIO			
Nominal (mm) ²	AWG	60°C	75°C	90°C	60°C	75°C	90°C	
0.32	22	3	3					
0.51	20	5	5					
0.82	18	7.5	7.5					
1.31	16	10	10					
2.08	14	15	15	25	20	20	30	
3.31	12	20	20	30	25	25	40	
5.26	10	30	30	40	40	40	55	
8.36	8	40	45	50	55	65	70	90
13.30	6	55	65	70	80	95	100	130
21.15	4	70	85	90	105	125	135	150
26.67	3	80	100	105	120	145	155	200
33.62	2	95	115	120	140	170	180	230
42.41	1	110	130	140	165	195	210	270
53.49	1/0	125	150	155	195	230	245	310
67.42	2/0	145	175	185	225	265	285	360
85.01	3/0	165	200	210	260	310	330	420
107.2	4/0	195	230	235	300	360	385	490
127	250 MCM	215	255	270	340	405	425	540
152.0	300 MCM	240	285	300	375	445	480	610
177.3	350 MCM	260	310	325	420	505	530	670
202.7	400 MCM	280	355	360	455	545	575	730
253.4	500 MCM	320	380	405	515	620	660	840
304	600 MCM	355	420	455	475	690	740	
354.7	700 MCM	385	460		630	755		
380	750 MCM	400	475	500	655	785	845	
405.4	800 MCM	410	490		680	815		
456	900 MCM	435	520		730	870		
506.7	1000 MCM	455	545	585	780	925	1000	
633.4	1250 MCM	495	590		890	1065		
760.1	1500 MCM	520	625		980	1175		
886.7	1750 MCM	545	650		1070	1280		
1013	2000 MCM	560	665		1155	1385		

Grupo A: Hasta 3 conductores en tubo o en cable o directamente enterrados.
Grupo B: Conductor simple al aire libre.

ANEXO 8

CARACTERISTICAS DEL ELECTRODO 60-11

	Color de Revestimiento : Blanco		Identificación : Punta Azul			
Norma :	AWS		E6011			
Análisis del Metal depositado :	C	0.06-0.07%	Mn	0.4-0.5%	Si	0.25%
Características :	Electrodo del tipo celulósico, para soldaduras de penetración. El arco es muy estable, potente y el material depositado de solidificación rápida, fácil aplicación con corriente continua y alterna. Los depósitos son de alta calidad en cualquier posición.					
Aprobación : Propiedades Mecánicas :	AMERICAN BUREAU OF SHIPPING					
	Resistencia a la Tracción		Alargamiento		Resistencia al Impacto	
	48-52 kg / mm ² 65.000 lbs / pulg. 2 à 72.000 lbs. / pulg ²		Lo = 5d 22-26%		CHARPY - V Kgm 10-12 (+ 20°C)	
Posiciones de Soldar:	Plana, horizontal, sobrecabeza, vertical ascendente, vertical descendente					
Corriente y polaridad:	Para corriente alterna o continua Electrodo al polo positivo					
	∅ mm	∅ Pulg.		Amperaje		
	2.50	3/32		70-90		
	3.25	1/8		90-130		
	4.00	5/32		130-160		
	5.00	3/16		160-200		
Aplicaciones :	<ul style="list-style-type: none"> • Soldadura para aceros no templables (aceros dulces). • Carpintería metálica. • Estructuras y bastidores para máquinas. • Chapas gruesas y delgadas. 					
LARGO :	350 mm.		PESO POR CAJA : 20 Kg./44 lbs.			

ANEXO 9

DIMENSIONES DE LAS PLANCHAS DE TOOL ASTM 36

Planchas

ASTM - A - 36

<u>1220 x 2440 x 2 mm.</u>	<u>1500 x 6000 x 4 mm.</u>	<u>1800 x 6000 x 5 mm.</u>
1220 x 2440 x 3 mm.	1500 x 6000 x 5 mm.	1800 x 6000 x 6 mm.
1220 x 2440 x 4 mm.	1500 x 6000 x 6 mm.	1800 x 6000 x 8 mm.
1220 x 2440 x 5 mm.	1500 x 6000 x 8 mm.	1800 x 6000 x 10 mm.
1220 x 2440 x 6 mm.	1500 x 6000 x 10 mm.	1800 x 6000 x 12 mm.
1220 x 2440 x 8 mm.	1500 x 6000 x 12 mm.	1800 x 6000 x 15 mm.
1220 x 2440 x 9 mm.	1500 x 6000 x 15 mm.	1800 x 6000 x 18 mm.
1220 x 2440 x 10 mm.	1500 x 6000 x 18 mm.	1800 x 6000 x 20 mm.
1220 x 2440 x 12 mm.	1500 x 6000 x 20 mm.	1800 x 6000 x 22 mm.
1220 x 2440 x 15 mm.	1500 x 6000 x 22 mm.	1800 x 6000 x 25 mm.
1220 x 2440 x 18 mm.	1500 x 6000 x 25 mm.	
1220 x 2440 x 20 mm.		
1220 x 2440 x 22 mm.	<u>2440 x 6096 x 6 mm.</u>	<u>2440 x 12.200 x 6.0 mm.</u>
1220 x 2440 x 25 mm.	2440 x 6096 x 8 mm.	2440 x 12.200 x 8.0 mm.
1220 x 2440 x 30 mm.	2440 x 6096 x 9 mm.	2440 x 12.200 x 9.0 mm.
1220 x 2440 x 35 mm.	2440 x 6096 x 10 mm.	2440 x 12.200 x 10.0 mm.
1220 x 2440 x 40 mm.	2440 x 6096 x 12 mm.	2440 x 12.200 x 12.0 mm.
1220 x 2440 x 45 mm.	2440 x 6096 x 15 mm.	2440 x 12.200 x 15.0 mm.
1220 x 2440 x 50 mm.	2440 x 6096 x 18 mm.	2440 x 12.200 x 18.0 mm.
1220 x 2440 x 65 mm.	2440 x 6096 x 20 mm.	2440 x 12.200 x 20.0 mm.
1220 x 2440 x 75 mm.	2440 x 6096 x 22 mm.	2440 x 12.200 x 22.0 mm.
	2440 x 6096 x 25 mm.	

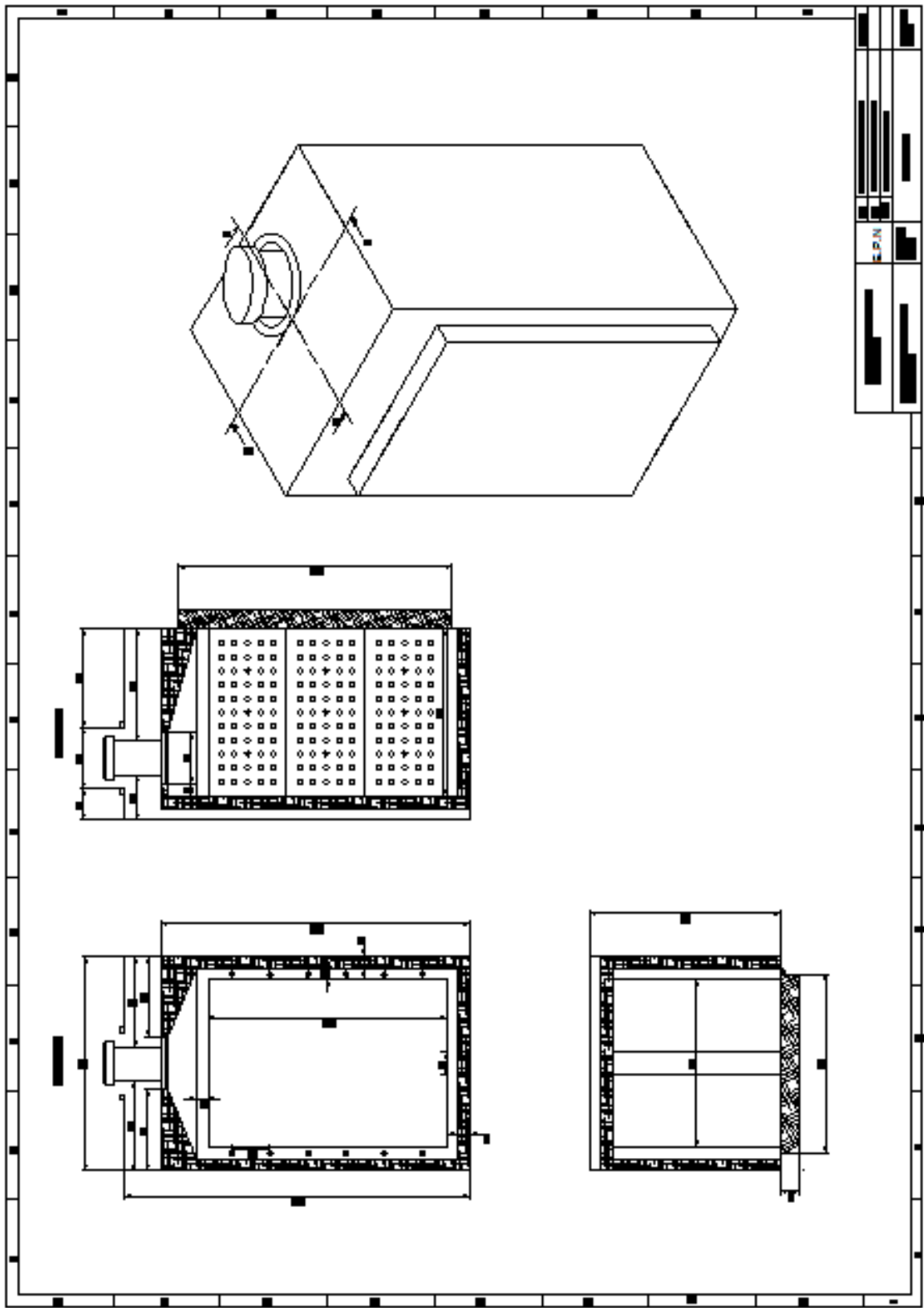
ASTM - A - 283 GR. C.

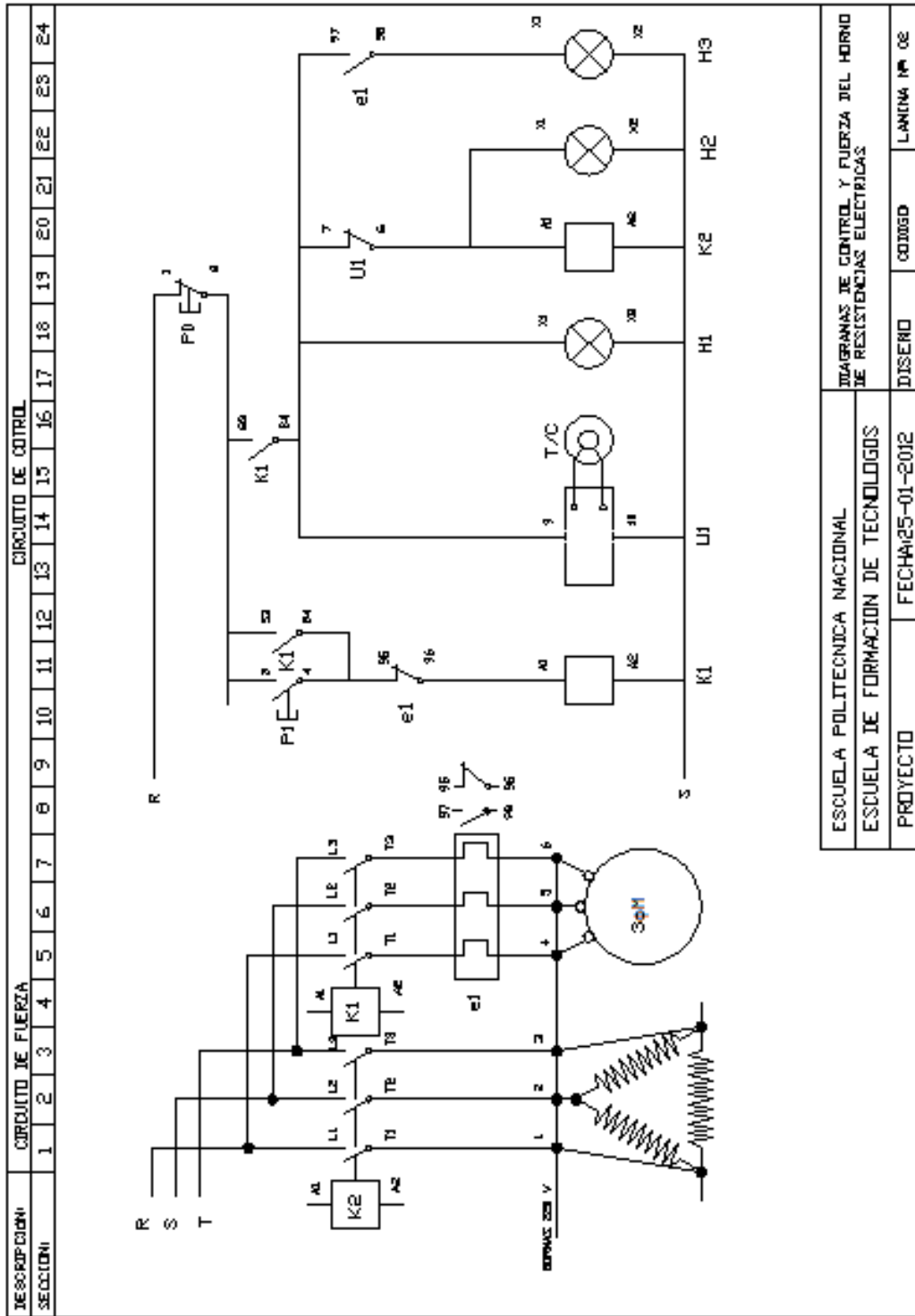
8' x 40' x 1/4	6' x 40' x 3/16
8' x 40' x 5/16	6' x 40' x 1/4
8' x 40' x 3/8	6' x 40' x 5/16
8' x 40' x 7/16	6' x 40' x 3/8
8' x 40' x 1/2	6' x 40' x 7/16
8' x 40' x 5/8	6' x 40' x 1/2
	6' x 40' x 5/8
	6' x 40' x 3/4

Láminas de Acero ASTM A36

código	Denominación nominal (pulg..)	Denominación nominal métrica	Espesor	Ancho	Largo	Área	Peso teórico kg
	Espesor (in) x ancho (ft) x largo (ft)	Espesor (mm) x ancho (m)x largo (m)	t	A	L		
135140	1/16 X 4 X 8	1.6 x 1,22 x 2,44	1,58 mm	1,22 m	2,44 m	2,9768m2	74,3 Kg
135302	1/8 X 4 X 16	3,2 x 1.22 x 4.8	3,17 mm	1,22 m	4,88 m	5,95 m2	148,6 Kg
135150	1/8 X 4 X 8	3.2 x 1.22 x 2.44	3,17 mm	1,22 m	2,44 m	2,98 m2	74,3 Kg
135232	1/8 X 4 X 10	3.2 x 1.22 x 3	3,17 mm	1,22 m	3,00 m	3,66 m2	91,4 Kg
135305	3/16 X 4 X 8	4.8x 1.22 x 2.44	4,76 mm	1,22 m	2,44 m	2,98 m2	105,2 Kg
135160	3/16 X 4 X 20	4.8 x 1.22 x 6	4,76 mm	1,22 m	6,00 m	7,32 m2	258,6 Kg
135320	1/4 X 6 X 20	6,4 X 1.81 x 6	6,35 mm	1,81 m	6,00 m	10,86 m2	541,4 Kg
135170	1/4 X 4 X 8	6.4 x 1.22 x 2.44	6,35 mm	1,22 m	2,44 m	2,98 m2	148,4 Kg
135310	1/4 X 4 X 20	6.4 x 1.22 x 6	6,35 mm	1,22 m	6,00 m	7,32 m2	364,9 Kg
135175	5/16 X 4 X 8	7.9 x 1.22 x 2.44	7,93 mm	1,22 m	2,44 m	2,98 m2	185,5 Kg
135315	3/8 X 4 X 20	9.5 x 1.22 x 6	9,52 mm	1,22 m	6,00 m	7,32 m2	547,0 Kg
135325	3/8 X 6 X 20	9.5 x 1.81 x 6	9,52 mm	1,81 m	6,00 m	10,86 m2	811,6 Kg
135180	3/8 X 4 X 8	9.5 x 1.22 x 2.44	9,52 mm	1,22 m	2,44 m	2,98 m2	222,5 Kg
135190	1/2 X 4 X 8	12 x 1.22 x 2.44	12,70 mm	1,22 m	2,44 m	2,98 m2	280,4 Kg
135317	1/2 X 4 X 20	12 x 1.22 x 6	12,70 mm	1,22 m	6,00 m	7,32 m2	689,5 Kg
135318	1/2 X 6 X 20	12 x 1.8 x 6	12,70 mm	1,81 m	6,00 m	10,86m2	1082,6 Kg
135195	5/8 X 4 X 8	16 x 1.22 x 4.8	15,87 mm	1,22 m	2,44 m	2,98 m2	370,8 Kg
135196	5/8 X 4 X 16	16 x 1.22 x 2.44	15,87 mm	1,22 m	4,88 m	5,95 m2	741,7 Kg
135200	3/4 X 4 X 8	19 x 1.22 x 2.44	19,05 mm	1,22 m	2,44 m	2,98 m2	444,0 Kg
135202	3/4 X 5 X 16	19 x 1.50 x 4.8	19,05 mm	1,50 m	4,88 m	7,32 m2	1091,8 Kg
135210	1 X 4 X 8	25 x 1.22 x 2.44	25,40 mm	1,22 m	2,44 m	2,98 m2	584,2 Kg
135211	1 X 5 X 16	25 x 1.50 x 4.8	25,40 mm	1,50 m	4,88 m	7,32 m2	1436,6 Kg
135212	1 1/4 X 4 X 8	32 x 1.22 x 2.44	31,75 mm	1,22 m	2,44 m	2,98 m2	741,9 Kg
135215	1 1/2 X 4 X 8	38 x 1.22 x 2.44	38,10 mm	1,22 m	2,44 m	2,98 m2	888,0 Kg
135217	2 X 4 X 8	50 x 1.22 x 2.44	50,80 mm	1,22 m	2,44 m	2,98 m2	1168,4 Kg
135219	3 X 4 X 8	76 x 1.22 x 2.44	76,20 mm	1,22 m	2,44 m	2,98 m2	1780,6 Kg

PLANOS





ESCUOLA POLITÉCNICA NACIONAL	DIAGRAMAS DE CONTROL Y FUERZA DEL HORNO	DE RESISTENCIAS ELÉCTRICAS
ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS	DISEÑO	CÓDIGO
PROYECTO	FECHA: 25-01-2012	LÁMINA Nº 02

ANEXOS VARIOS

REBOBINAJE DE UN MOTOR ELÉCTRICO

El proceso de rebobinado comienza relevando todos los datos del mismo

- Número de polos, número de fases, número de ranuras
- Diámetro del conductor, número de espiras, forma de las cabezas de las bobinas, clase de aislamiento.



Se prepara el estator para recibir las bobinas

- En cada ranura se coloca una aislación entre los conductores de la bobina y el circuito magnético
- El material utilizado dependerá de la clase de aislamiento del motor



Se observa un detalle del aislamiento del fondo de ranura y del cierre



Construcción de las bobinas

- La construcción de las bobinas depende del tipo de bobinado utilizado
- El tipo de esmalte del conductor de la clase de aislación



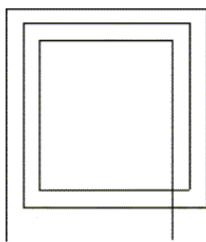
La construcción de las bobinas se realiza con una máquina bobinadora

- La forma de los distintos moldes utilizados depende del tipo de bobinado adoptado

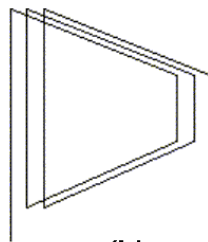


Disposición de las bobinas para distintos tipos de bobinados

- a) Bobinados concéntricos, los conductores activos de una fase son unidos por cabezas concéntricas
- b) Bobinados excéntricos, los conductores son unidos por cabezas que resultan todas iguales



(a)



(b)

Introducción de la bobina en la ranura



Se refuerza el aislante y sujeta la bobina con una cuña de madera



Amarre de las bobinas

Por el lado del estator donde no hay conexiones de los grupos de bobinas



Conexión de los grupos de bobinas

Por el otro lado del estator, se conectan, según el tipo de devanado utilizado, el principio y fin de cada grupo de bobinas para formar las fases

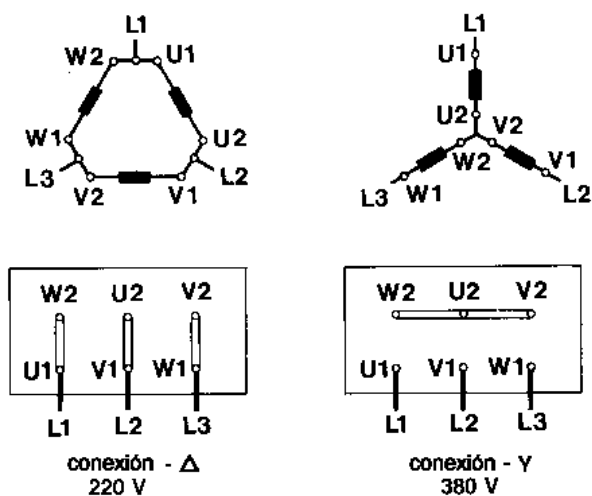


Placa de bornes

- Se conectan los principios y finales de cada fase a la placa de bornes, teniendo en cuenta el tipo de conexión triángulo o estrella



Disposición de la bornera para conexión triángulo y estrella



Antes del montaje del motor

- Se debe realizar una prueba de continuidad y medición de resistencia de los devanados de cada fase
- Una diferencia puede poner en evidencia alguna conexión o soldadura deficiente



Comprobado que las conexiones son correctas se debe eliminar la humedad

- Antes de la impregnación las bobinas se calentarán a una temperatura de 105 a 110°C, se mantendrá esta temperatura durante el tiempo necesario para que la evaporación del agua sea lo más completa posible

- Este tiempo dependerá de la masa a calentar, del gradiente térmico del horno, y variará en función de la humedad relativa ambiente.

Enfriamiento de la masa a impregnar

- La impregnación no debe efectuarse a temperaturas elevadas, para evitar una evaporación masiva de solventes, que traerían como resultado un aumento considerable en la viscosidad del barniz, y por lo tanto un poder de penetración menor
- Se aconseja por lo tanto dejar enfriar la masa a impregnar hasta que la misma haya alcanzado una temperatura de 40 a 45°C, esto debe hacerse dentro del horno para evitar la reabsorción de humedad.

Impregnación

- **a) La viscosidad del barniz:**

Un barniz muy viscoso tiene bajo poder de penetración y seca mal en profundidad

- **b) Tiempo de impregnación:**

Se procurará por todos los medios evitar que quede aire ocluido en los espacios internos de las bobinas

- **c) Escurrido del barniz:**

Una vez impregnadas las bobinas debe eliminarse el exceso de barniz, hay que evitar la formación de grumos que secan imperfectamente.

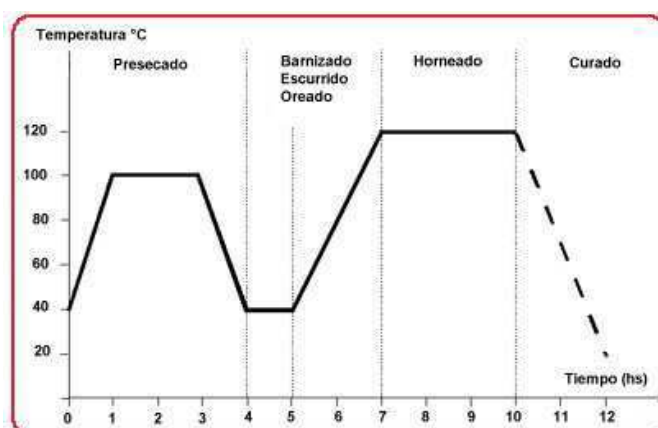
Curado de la película de barniz

- El curado varía de acuerdo con el tipo de barniz empleado, la evaporación de solventes debe hacerse en forma lenta, se evita así la formación de una película superficial seca
- Si un barniz retiene solvente sus características dieléctricas se reducen, al igual que su resistencia mecánica y química

- En general el horno se tendrá a una temperatura inicial de aproximadamente 40°C elevándose la misma en forma suave hasta alcanzar la temperatura de curado indicada por el fabricante del barniz
- Si el proceso de impregnación se efectúa mediante el uso de autoclave, el proceso proporciona resultados mejores con un menor tiempo.

Ejemplo de secado al horno

- Los incrementos de temperaturas deben ser de 30 a 50°C por hora
- Los tiempos de escurrido y oreado se deben ajustar en función de la pieza a impregnar
(15 minutos a 3 horas)
- Norma IRAM 2070 parte I, II, III y IV.



Medición de resistencia de aislamiento

- Realizada con un valor de tensión continua adecuado con el nivel de aislamiento del devanado, normalmente 500 a 5000 V durante 1 minuto
- Cuando el centro de estrella es accesible es recomendable que el ensayo se realice aislando las fases y midiendo cada una separadamente



Montaje de las tapas del motor y caperuza de protección del ventilador



Una vez concluidas las pruebas anteriores, montado el motor

- Se realizan las pruebas con tensión aplicada de acuerdo con las normas, para verificar la rigidez dieléctrica



CIRCUITOS TRIFASICOS

Chromalox Technical Documents

Información Técnica

Información técnica

Fundamentos eléctricos y cálculos trifásicos

La Ley de Ohm

La relación entre la emisión de voltaje (calor) y el voltaje aplicado de los elementos de calentamiento de resistencia eléctrica se determina por una regla física precisa definida como la Ley de Ohm, la cual establece que la corriente en un elemento de calentamiento resistivo es directamente proporcional al voltaje aplicado. La Ley de Ohm se expresa tradicionalmente como:

$$I = \frac{E}{R}$$

Donde: I = Amperes (Corriente)
E = Voltaje
R = Ohms (Resistencia)

La misma ecuación usando la abreviación convencional para el voltaje es:

$$I = \frac{V}{R}$$

Donde: I = Amperes (Corriente)
V = Voltaje
R = Ohms (Resistencia)

Un valor eléctrico desconocido puede calcularse usando los otros dos valores conocidos en una de las variaciones de la ley de Ohm mostrada a la derecha.

Relaciones de voltaje y wattaje

Un elemento de resistencia eléctrica sólo produce un valor de wattaje dado a un valor de voltaje dado. Esto es común para elementos de calentamiento eléctrico y conjuntos que van a ser conectados en un amplio rango de voltajes de operación. Dado que la salida de wattaje varía directamente con la raíz del cuadrado del voltaje, el voltaje actual puede ser calculado para cualquier voltaje aplicado. La relación es expresada por la ecuación presentada abajo.

$$W_A = W_N \times \left(\frac{V_A}{V_N}\right)^2$$

Donde: W_A = Voltaje existente
 W_N = Voltaje nominal
 V_A = Voltaje aplicado
 V_N = Voltaje nominal

Ecuaciones trifásicas (balanceadas)

La ley de Ohm como se estableció arriba, se aplica a los elementos de resistencia eléctrica operados en circuitos monofásicos. La ley de Ohm puede ser modificada para calcular valores trifásicos adicionando un factor de corrección para las relaciones del voltaje de fase. Las ecuaciones trifásicas pueden aplicarse a cualquier circuito delta o estrella. Los términos usados en las ecuaciones son identificados abajo:

- V_L = Voltaje de línea
- V_F = Voltaje de fase
- I_L = Corriente de línea (A)
- I_F = Corriente (A)
- W_T = Wattaje total
- $R_L = R_1 = R_2 =$ Resistencia del elemento
- W_C = Wattaje por elemento (circuitos iguales)
- R_C = Resistencia del circuito en Ohm inactiva fase a fase

VOLTIOS LEY DE OHM AMPERIOS

VOLTIOS = $\sqrt{\text{WATIOS} \times \text{OHMS}}$

VOLTIOS = $\frac{\text{WATIOS}}{\text{AMPERIOS}}$

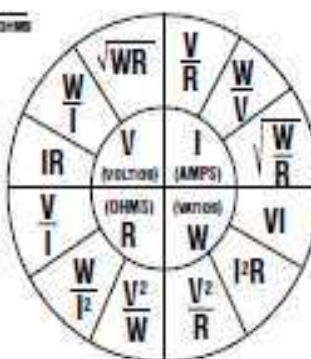
VOLTIOS = $\text{AMPERIOS} \times \text{OHMS}$

OHMS

OHMS = $\frac{\text{VOLTIOS}}{\text{AMPERIOS}}$

OHMS = $\frac{\text{WATIOS}}{\text{AMPERIOS}^2}$

OHMS = $\frac{\text{VOLTIOS}^2}{\text{WATIOS}}$



AMPERIOS = $\frac{\text{VOLTIOS}}{\text{OHMS}}$

AMPERIOS = $\frac{\text{WATIOS}}{\text{VOLTIOS}}$

AMPERIOS = $\sqrt{\frac{\text{WATIOS}}{\text{OHMS}}}$

WATIOS

WATIOS = $\text{VOLTIOS} \times \text{AMPERIOS}$

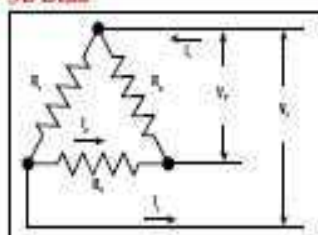
WATIOS = $\text{AMPERIOS}^2 \times \text{OHMS}$

WATIOS = $\frac{\text{VOLTIOS}^2}{\text{OHMS}}$

Porcentaje de voltaje nominal para varios voltajes aplicados

Voltaje aplicado	Voltaje nominal													
	110	115	120	208	220	230	240	277	380	415	440	460	480	575
110	100	91	84	28	25	23	21	16	8.4	7.0	6.2	5.7	5.3	3.0
115	100	100	92	31	27	25	23	17	9.0	7.6	6.7	6.2	5.7	4.0
120	110	100	100	33	30	27	25	19	10	8.4	7.4	6.8	6.3	4.3
208	—	—	300	100	86	80	75	56	30	25	22	20	19	13
220	—	—	—	112	100	91	84	63	34	28	25	23	21	15
230	—	—	—	122	109	100	92	69	37	31	27	25	23	16
240	—	—	—	135	119	108	100	75	40	33	30	27	25	17
277	—	—	—	—	—	—	133	100	53	45	40	36	33	23
380	—	—	—	—	—	—	—	188	100	84	74	68	63	44
415	—	—	—	—	—	—	—	—	119	100	89	81	75	52
440	—	—	—	—	—	—	—	—	—	112	100	91	84	58
460	—	—	—	—	—	—	—	—	—	123	100	92	84	64
480	—	—	—	—	—	—	—	—	—	119	106	100	70	—
550	—	—	—	—	—	—	—	—	—	150	143	131	91	—
575	—	—	—	—	—	—	—	—	—	171	156	144	100	—
600	—	—	—	—	—	—	—	—	—	198	170	158	109	—

3Ø Delta



$$V_F = V_L$$

$$W_T = 1.73 I_L \times V_L$$

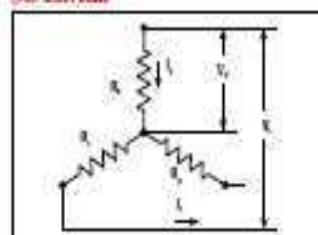
$$I_F = I_L \times 1.73$$

$$W_C = 1.73 I_L \times V_L \div \# \text{ circuitos}$$

$$R_C = (2 \times V_L^2) \div W_C$$

Nota: Para conexiones abiertas tipo delta, ver la próxima página.

3Ø Estrella



$$V_F = V_L \div 1.73$$

$$W_T = 1.73 I_L \times V_L$$

$$I_F = I_L$$

$$W_C = 1.73 I_L \times V_L \div \# \text{ circuitos}$$

$$R_C = (2 \times V_L^2) \div W_C$$

Nota: Para conexiones en estrella abiertas, ver la próxima página.

Información técnica

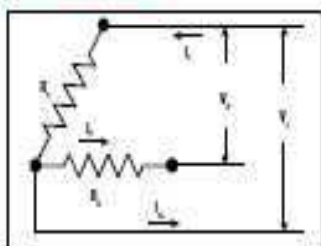
Ecuaciones trifásicas y diagramas de instalación eléctrica de calentadores.

Circuitos abiertos tipo Delta y en estrella

Los circuitos de calentamiento trifásicos son los más eficientes cuando funcionan bajo condiciones balanceadas. Si hace falta operar una carga desbalanceada, se pueden usar las ecuaciones que se dan abajo para calcular los valores del circuito para circuitos delta o en estrella trifásicos. Los términos usados en las ecuaciones se identifican a continuación:

- V_L = Voltaje de línea
- V_F = Voltaje de fase (potencial)
- I_L = Corriente de línea (A)
- I_F = Corriente de fase (fase desbalanceada)
- I_F = Fase de corriente (A)
- W_T = Voltaje total
- $R_L = R_1 + R_2$ = Resistencia del elemento
- R_C = Resistencia del circuito en Ohm medida fase a fase

3Ø Delta abierto



$$V_F = V_L$$

$$W_T = 2V_L \times I_L$$

$$W_C = 2V_F \times I_F$$

$$V_L = V_F$$

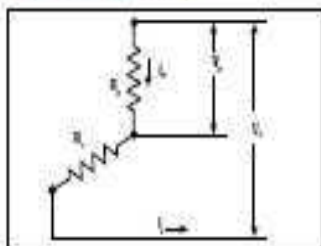
$$W_T = 2(V_F^2 \times R_L)$$

$$I_L = I_F$$

$$I_{L2} = 1.73 \times I_F$$

La pérdida de una fase o el fallo de un elemento en un circuito Delta de tres elementos reducirá la salida de voltaje alrededor de 33 %.

3Ø En estrella abierta



$$V_F = V_L \div 2$$

$$W_T = \frac{1}{2} \times V_L^2$$

$$W_C = V_F^2 \times 2R_L$$

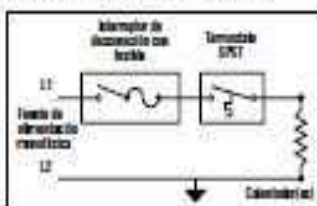
$$I_L = I_F$$

$$I_{L2} = I_F$$

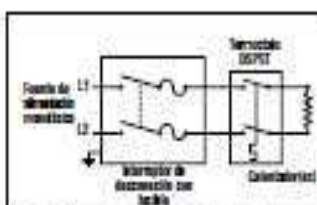
La pérdida de una fase o el fallo de un elemento en un circuito Estrella de tres elementos reducirá la salida de voltaje al 50 %. Los elementos de calentamiento están conectados, balanceados, en serie con alimentación monofásica.

Diagramas típicos de instalación eléctrica del calentador

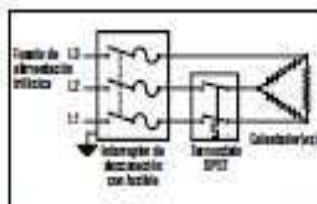
Los siguientes diagramas muestran los esquemas típicos de instalación eléctrica de calentador.



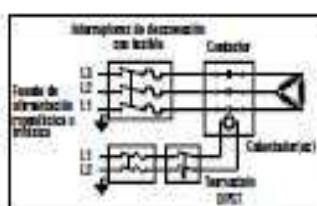
Circuito monofásico de 120VCA del calentador, desde el voltaje de línea y la corriente se accionan al valor nominal del termostato.



Circuito de CA monofásico o trifásico del calentador, desde el voltaje de línea y la corriente se accionan al valor nominal del termostato.

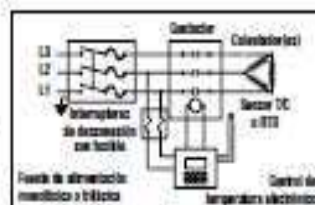


Circuito trifásico de CA del calentador, desde el voltaje de línea y la corriente se accionan al valor nominal del termostato. El circuito en línea es un ejemplo típico.

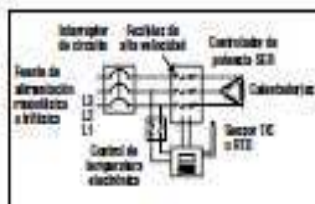


Circuito de CA monofásico o trifásico del calentador, desde el voltaje de línea y la corriente se accionan al valor nominal del termostato. El circuito de control separado puede usar un tipo común de polo simple o doble. El circuito de control necesita protección contra sobrecalentamiento.

ADVERTENCIA: Peligro de descarga eléctrica. Cualquier instalación que incluya calentadores eléctricos debe conectarse bien a tierra de acuerdo con el Código Eléctrico Nacional para eliminar el peligro de descarga eléctrica.



Circuitos de CA monofásicos o trifásicos del calentador operan un controlador de temperatura electrónico y un controlador de temperatura electrónico. El controlador de temperatura electrónico debe estar clasificado para el mismo voltaje del circuito calentador. El circuito de control necesita protección contra el sobrecalentamiento.



Circuitos de CA monofásicos o trifásicos del calentador, con un controlador de temperatura electrónico y un controlador de potencia SCR de estado sólido. El controlador debe estar regulado al mismo voltaje del circuito calentador. El circuito de control necesita protección contra el sobrecalentamiento. Todas las conexiones eléctricas a los calentadores eléctricos deben ser instaladas de acuerdo con el Código Eléctrico Nacional o los códigos eléctricos locales, por un personal calificado.

Cableado y temperatura ambiente

Cuando se seleccionan los materiales para el cableado de los circuitos de calentadores eléctricos, se deben considerar las temperaturas ambiente. El equipo y los procesos de calentamiento pueden hacer que el cableado asociado funcione bien a temperaturas ambiente. Estas temperaturas pueden surgir a partir del calor conducido por los terminales del calentador; la radiación de las superficies calentadas o simplemente temperaturas altas del aire del ambiente. Las conductores de cobre enchapado en níquel o de aleaciones de níquel con alto aislamiento de temperatura deberán usarse siempre en áreas de alta temperatura. Fuera de esas áreas, se usan comúnmente los materiales de cableado convencionales. El alambre de construcción a 60 °C se es normalmente el adecuado a menos que se indique lo contrario.

Cableado en condiciones severas

Los locales húmedos o mojados necesitan terminales encapsulados o cajas de empalme para proteger los equipos y el cableado. Se recomienda usar un conductor rígido. Para los sitios peligrosos es necesario el uso de terminales y cajas de empalme aprobadas a pruebas de explosión. El conductor rígido o el alambre de mineral aislado (MI) es obligatorio en áreas de la División 1. Algunos sitios peligrosos pueden necesitar sellos de contactos (EFS) adyacentes al equipo.