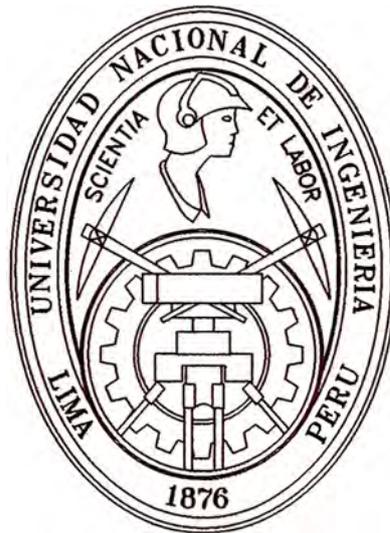


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA**



**DISEÑO DE UN HORNO ELECTRICO PARA EL
SECADO DE TRANSFORMADORES DE POTENCIA**

TESIS

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECANICO

RUDY ALEJANDRO GARATE AYBAR

PROMOCIÓN 1983-I

LIMA-PERU

-2005-

DEDICATORIA:

*A mis padres, esposa e hijos por
constituir una constante fuente de
inspiración que permitieron la
realización del presente trabajo.*

INDICE

Prólogo	1
CAPITULO I	
INTRODUCCION	4
1.1 Generalidades	4
1.2 Objetivos.....	4
1.3 Los Alcances.....	5
1.4 Las Normas.....	5
CAPITULO II	
TIPOS Y ESTRUCTURA DE UN TRANSFORMADOR	6
2.1 Clasificación de los tranformadores de potencia por su utilización.....	6
2.2 Clasificación de los tranformadores de potencia por el tipo de enfriamiento	7
2.3 Circuito Magnético.....	8
2.4 Circuito eléctrico (bobinas).....	9
2.5 El Sistema de Aislamiento.....	10
2.6 Tanque y Bastidor.....	12
2.7 Accesorios.....	13
2.7.1 Tanque Conservador.....	13
2.7.2 Cambiador de Derivaciones (Taps).....	14
2.7.3 Boquillas.....	15
2.7.4 Valvulas.....	15
2.7.5 Conectores de Tierra.....	15
2.7.6 Placa de Características.....	15

CAPITULO III**SECADO DE TRANSFORMADORES PARA SU MANTENIMIENTO.....16**

3.1	Pruebas Eléctricas.....	16
3.1.1	Clasificación de las Pruebas Eléctricas.....	16
3.1.2	Prueba de resistencia de aislamiento.....	18
3.1.3	Prueba de factor de disipación de los aislamientos.....	19
3.1.4	Prueba de rigidez dieléctrica del aceite.....	20
3.1.5	Pruebas de relación de transformación y Polaridad	20
3.1.6	Prueba de resistencia ohmica de los devanados	21
3.1.7	Prueba de potencial aplicado.....	21
3.1.8	Prueba de potencial inducido.....	22
3.1.9	Prueba de impulso.....	23
3.1.10	Pruebas para la determinación de pérdidas	24
3.1.11	Pruebas especiales.	24
3.2	Procesos de Construcción.....	25
3.2.1	Proceso de manufactura del Núcleo.	25
3.2.2	Proceso de manufactura de bobinas.....	25
3.2.3	Construcción del Tanque y Bastidor.	28
3.2.4	Ensamble del conjunto núcleo – bobina.....	29
3.2.5	Proceso de secado del conjunto núcleo-bobina	29

CAPITULO IV**PARÁMETROS DE DISEÑO.....31**

4.1	Normas Técnicas a emplear.....	31
4.2	Consideraciones Para el Diseño del Horno.	32
4.3	Parámetros de los Transformadores de Potencia.....	33

4.4	Parámetros Para el diseño del Horno	34
4.4.1	Mecanismos de Transmisión de calor.....	34
4.4.2	Materiales a usar en el Diseño del Horno.....	37
4.4.3	conductividad.	37
4.4.4	Coeficiente Pelicular.....	38
4.4.5	Cuerpo Negro y Gris.....	39
4.4.6	Potencia Emisiva.....	39
4.4.7	Irradiación, Radiosidad y Emisividad.....	40
4.4.8	Absortividad, Reflectividad y Transmisividad	41
4.5	Accesorios del Horno.	42
4.5.1	Ventilador Axial.	42
4.5.2	Mecanismo de Transmisión Para el Ventilador	43
4.5.3	Expulsión de humedad en el horno.....	43
4.5.4	Tablero eléctrico.....	43
4.5.5	Calentadores eléctricos.	44
4.5.6	Termómetro y Termostato.	44

CAPITULO V

	DISEÑO Y CÁLCULO DEL HORNO.	46
5.1	Representación típica del horno.	46
5.2	Diseño de los calentadores eléctricos.....	47
5.2.1	Cálculo de la sección de las resistencias.....	47
5.2.2	Cálculo de la temperatura en la superficie de los calentadores	48
5.3	Diseño de las paredes del horno.....	51
5.3.1	Calor radiante transferido desde la superficie de calentadores a cada pared del horno	52
5.3.2	Cálculo de la temperatura en el interior	

	del horno.....	68
5.3.3	Determinación del espesor del aislante térmico.....	71
5.3.4	Reforzamiento de las paredes del horno.....	77
5.3.5	Diseño del piso del horno.....	79
5.3.6	Comprobación de los calentadores al emplearse el ventilador.....	80
5.4	Diseño del ventilador axial.....	82
5.4.1	Requerimiento del caudal de aire en el horno.....	82
5.4.2	Potencia de accionamiento del ventilador.....	84
5.4.3	Factor de Carga.....	86
5.4.4	Selección del motor.....	87
5.4.5	Sistema de Transmisión del Ventilador.....	89
5.4.6	Número de álabes del ventilador.....	93
5.4.7	Cálculo de las pérdidas en el ventilador.....	94
5.5	Diseño del tablero eléctrico.....	95
 CAPITULO VI		
	EVALUACIÓN DE COSTOS.....	97
	CONCLUSIONES	101
	BIBLIOGRAFÍA	102
	ANEXOS	
	PLANOS	

PRÓLOGO

El trabajo que se desarrolla en la presente Tesis, es a consecuencia del crecimiento del uso del fluido eléctrico; en las 2 últimas décadas se han extendido la Red del Mantaro, Centrales, Minicentrales hidroeléctricas y otros, a nivel de las capitales de las grandes metrópolis, provincias, distritos, asentamientos humanos, es decir, a nivel de todo el país, esta expansión, a raíz de la descentralización ha generado la necesidad de una mayor cantidad de transformadores de potencia, los cuales para su mantenimiento requieren el horno eléctrico, práctico y eficiente para darle el secado necesario a una temperatura determinada y otras condiciones, los cuales se describen y desarrollan en los capítulos siguientes:

Capítulo I, La introducción, lugar donde se explica con claridad: las generalidades, los objetivos, los alcances y las normas, de esta manera lograr el trabajo con resultados óptimos.

Capítulo II, se hace una breve descripción del transformador con la clasificación correspondiente, para después detallar la estructura del mismo.

Capítulo III, Una precisión de lo que es un transformador de potencia, sus tipos considerando su utilización, formas de enfriamiento cuando una máquina está en funcionamiento y sus accesorios en general.

Capítulo IV, Parámetros de Diseño. Se hace referencia a las normas técnicas a emplearse en el diseño respectivo, los parámetros y consideraciones para el diseño y buen funcionamiento del horno.

Capítulo V, Diseño y Cálculo del Horno, donde se toma en cuenta los datos necesarios y los requerimientos referidos en los capítulos precedentes, se realiza el dimensionamiento del horno en cuestión. El capítulo engloba a su vez: el diseño de los calentadores eléctricos, dimensionamiento de las paredes del horno con una capa aislante, diseño del ventilador que se encargará de impulsar la humedad en estado de vapor para su expulsión, el diseño del tablero eléctrico para el control de encendido o apagado del horno y la regulación automática del funcionamiento de los calentadores.

Capítulo VI, contiene la evaluación de costos para la fabricación de un horno prototipo de acuerdo al diseño que se propone.

Finalmente se da las conclusiones y recomendaciones, anexos, bibliografía y los planos respectivos.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

El diseño del horno eléctrico está orientado a la necesidad de secado del transformador, para eliminar la humedad del sistema de aislamiento nocivo para el funcionamiento eficiente de la máquina, el cual se requiere para el mantenimiento del mismo y cumplir con el control de calidad requerido, de una manera mas clara tocaré los puntos siguientes:

1.1 GENERALIDADES

El horno eléctrico a diseñarse es alimentado por energía eléctrica a diferencia de los convencionales que requieren gas propano para el secado del horno. El proceso de secado, para los transformadores, es determinante, en el control de calidad. Dicho control de calidad está relacionado en forma directa con las diversas pruebas eléctricas, que también se tratan descriptivamente en el capítulo tres. El secado de transformadores es una operación obligatoria; aún cuando existan mejores métodos de elaboración y uso de materiales con mejores propiedades para su construcción. En el sistema de aislamiento hay presencia de humedad la que precisamente debe ser eliminada por el proceso de secado.

En nuestro país, la mayoría de los fabricantes, en sus plantas utilizan hornos con quemadores a gas propano. Asimismo, en la presente Tesis es

proponer el diseño de un horno cuyo funcionamiento sea en base a energía eléctrica, ello para mejorar el aspecto de seguridad, en vista de que la probabilidad de ocurrir accidentes es mayor con el uso de combustible gas propano.

La parte medular del presente trabajo de tesis está referido en el capítulo cinco, donde se describe el proceso de diseño del horno eléctrico:

Sobre la base de obtener una temperatura interna máxima de 120°C, en un determinado tiempo, y a partir de las dimensiones definidas del horno, se diseñan las paredes aislantes del mismo y los calentadores eléctricos.

También se considera el diseño de un ventilador axial para la evacuación del vapor generado durante la eliminación de la humedad en el conjunto núcleo-bobina del transformador durante un tiempo de secado de 12 a 14 horas. Finalmente se considera el diseño del tablero de control, mediante el cual se producirá el encendido o apagado de los calentadores y ventilador; así como el control automático de la temperatura a través de un termostato para mantener la temperatura programada en el proceso de secado. En el proceso de diseño del horno se han tenido en cuenta factores económicos, materiales adecuados y la aplicación de conocimientos adquiridos en las materias siguientes: Transferencia de Calor, Resistencia de materiales, Ingeniería Eléctrica, Turbomáquinas y Elementos de Máquinas.

1.2 OBJETIVOS.

Como es un horno eléctrico se minimiza el riesgo del personal que manipulará, paralelamente se logra mejor resultado de secado del circuito magnético, eléctrico y sistema de aislamiento del transformador.

1.3 LOS ALCANCES

Este horno eléctrico puede secar un transformador de una capacidad máxima de 10 MVA, para capacidades superiores requiere dimensiones mayores que las propuestas en este trabajo.

1.4 LAS NORMAS

Referentes a las normas debo manifestar que la temperatura de secado y la duración del mismo cada fabricante ha determinado los puntos óptimos basados en su experiencia, asimismo se ha considerado para el secado del transformador la temperatura de 120°C y una duración de 12 a 14 horas en nuestro caso.

CAPITULO II

TIPOS Y ESTRUCTURA DE UN TRANSFORMADOR

El transformador es una máquina electromagnética, cuya función principal es cambiar la magnitud de la tensión eléctrica.

2.1 CLASIFICACIÓN DE LOS TRANSFORMADORES DE POTENCIA POR SU UTILIZACIÓN

Transformadores para Generadores. Son transformadores de potencia que van conectados a la salida del generador. Proporcionan la energía a la línea de transmisión.

Transformadores de subestación. Son transformadores de potencia que van conectados al final de la línea de transmisión para reducir la tensión a nivel de subtransmisión.

Transformadores de distribución. Reducen la tensión de subtransmisión a tensiones aplicables en zonas de consumo.

Transformadores especiales. Son transformadores de potencia diseñados para aplicaciones no incluidas en las anteriores y que pueden ser: reguladoras de tensión, transformadores para rectificador, para horno de arco eléctrico, autotransformadores, transformadores para prueba, transformadores de medida.

2.2 CLASIFICACIÓN DE LOS TRANSFORMADORES DE POTENCIA POR EL TIPO DE FUNCIONAMIENTO

Tipo OA. Es un transformador sumergido en aceite con enfriamiento natural. Este es el enfriamiento más común y frecuente resultado más económico y adaptable a la generalidad de las aplicaciones. En estas unidades el aceite aislante circula por convección natural dentro de un tanque con paredes lisas o corrugadas, o bien provistos de enfriadores tubulares o de radiadores separables.

Tipo OA/FA. Sumergido en aceite con enfriamiento a base de aire forzado. Esta unidad es básicamente del tipo OA al cual se agregó ventiladores para aumentar la disipación del calor en las superficies de enfriamiento; y por lo tanto aumentar los KVA de salida del transformador.

Tipo OA/FA/FOA. Transformador sumergido en aceite con enfriamiento propio, con enfriamiento a base de aire forzado y aceite forzado (bomba).

Tipo FOA. Sumergido en aceite con enfriamiento con aceite forzado con enfriadores de aire forzado. El aceite de estas unidades es enfriado al hacerlo pasar por cambiadores de calor o radiadores de aire y aceite, colocados fuera del tanque. El ventilador y la bomba de aceite trabajan continuamente.

Tipo OW. Sumergido en aceite, con enfriamiento por agua. Este tipo de transformador está equipado con un cambiador de calor tubular colocado fuera del tanque. El agua fluye por el tubo, el aceite toca la parte externa del tubo.

Tipo FOW. Sumergido en aceite, con enfriadores de agua forzada. Este es prácticamente igual que el tipo FOA, solo que el cambiador de calor es del modelo agua-aceite y no tiene ventilador.

Tipo AA. Transformadores tipo seco con enfriamiento propio. Se caracteriza por no tener aceite u otro líquido para efectuar las funciones de aislamiento y enfriamiento. El aire es el único medio aislante que rodea el núcleo y las bobinas.

Tipo AFA. Transformador tipo seco con enfriamiento por aire forzado mediante un ventilador que lleva aire a cada núcleo.

Tipo AA/FA. Transformadores tipo seco con enfriamiento propio, con enfriamiento por aire forzado, tiene por lo dicho dos regímenes, uno por enfriamiento natural y otro contando con la circulación forzada por medio de ventiladores, este control es automático y opera mediante un relevador térmico.

Los transformadores que se fabrican o importan en el Perú son generalmente del tipo OA (autoenfriados en aceite).

La estructura del Transformador está constituida por los elementos siguientes:

- Circuito magnético
- Circuito eléctrico
- Sistema de aislamiento
- Tanque y accesorios

2.3 CIRCUITO MAGNÉTICO.

Es el componente del transformador que servirá para conducir el flujo magnético generado, el cual concatenará magnéticamente los circuitos eléctricos del transformador. El circuito magnético se conoce comúnmente como núcleo. Dicho núcleo se encuentra formado por láminas de acero al

silicio de grano orientado de bajas pérdidas y una alta permeabilidad magnética.

Todas las láminas están aisladas en ambas caras por medio de un aislante inorgánico llamado "carlite" que consiste de una capa especial aislante aplicada en el proceso final de recocido.

El tipo de lámina más usual en la fabricación de núcleos para transformadores es la M—4 cuyo espesor es de 0,28 mm.

La norma que utiliza el fabricante para el diseño del núcleo, no establece formas ni condiciones especiales para su fabricación. Se busca la estructura más adecuada a las necesidades y capacidades del diseño. El núcleo puede ir unido a la tapa y levantarse con ella, o puede ir unido a la pared del tanque, lo cual produce mayor resistencia durante las maniobras mecánicas de transporte.

2.4 CIRCUITO ELÉCTRICO (BOBINAS).

Los devanados son la parte que componen los circuitos eléctricos del transformador (devanados primarios y secundarios). Los devanados se fabrican en diferentes tipos dependiendo de las necesidades del diseño, y los materiales que se utilizan, básicamente son el cobre y el aluminio.

Los devanados deben tener conductos de enfriamiento radiales y axiales que permitan fluir aceite y eliminar el calor generado en su interior. Además deben tener apoyos y sujeciones suficientes para soportar los esfuerzos mecánicos debidos a su propio peso, y sobretodo los de tipo electromagnético que se producen durante los cortocircuitos.

Los devanados, según su capacidad y tensión del transformador pueden ser de tipo rectangular para pequeñas potencias, de tipo cilíndrico para

potencias medianas y de tipo galleta para potencias altas.

Devanado rectangular.- Se instala sobre un molde o mandril de sección rectangular. Es el más económico. Se puede utilizar en transformadores trifásicos con potencias limitadas hasta 5 MVA y tensiones de hasta 69 KV.

Devanado cilíndrico.- Se forma con una serie de discos, con separaciones de cartón aislante para permitir el flujo de aceite; los discos se instalan sobre un tubo de material aislante. Cada disco consta de varias vueltas devanadas en espiral. Se utilizan en transformadores de potencias de hasta 15 MVA.

Devanado Continúo tipo Disco.- Semejante al caso anterior. Se inicia a partir de un disco que se devana en espiral desde el tubo aislante hacia afuera. La vuelta exterior del disco se conecta con la exterior del siguiente disco, y en este el devanado espiral se desarrolla ahora desde afuera hacia adentro, continuando así sucesivamente hasta terminar el devanado. Los discos se separan entre sí por medio de espaciadores de cartón prensado. Este tipo de embobinado se usa en transformadores con potencia de hasta 40 MVA.

Devanado tipo Galleta.- El primario y el secundario se devanan en forma de galletas rectangulares, colocando las bobinas primarias y secundarias en forma alternada. Se utilizan en transformadores de tipo acorazado, para altas potencias y altas tensiones 220 KV a 400KV.

2.5 EL SISTEMA DE AISLAMIENTO.

Los transformadores poseen una serie de materiales aislantes los cuales juntos forman el sistema de aislamiento. Este sistema incluye materiales como:

- Cartón prensado (pressboard de entre 1,58mm a 6,35mm de espesor).

- Papel kraft de 0,127 a 0,508mm de espesor.
- Papel manila y corrugado.
- Cartón prensado de alta densidad.
- Collares de cartón prensado y aislamientos finales.
- Partes de cartón prensado laminados.
- Esmaltes y barnices.
- Recubrimientos orgánicos e inorgánicos para la laminación del núcleo.
- Porcelanas (boquillas o aisladores)
- Recubrimientos de polvo epóxico.
- Madera de maple o machine para armados.
- Fibra vulcanizada.
- Algodón (hilos, cintas).
- Plásticos y cementos, telas y cintas adhesivas, cintas de fibra de vidrio, etc.
- Fluido líquido dieléctrico (excepto equipos aislados en aire o gas) que puede ser aceite mineral, aceite de siliconas o r-temp.

El sistema de aislamiento, aísla los devanados del transformador entre ellos y a tierra, así como las partes cercanas al núcleo y a las partes de acero que forma la estructura.

Los primeros catorce materiales forman el sistema de aislamiento sólido que debe de cumplir con cuatro importantes funciones:

- Calidad para soportar las tensiones relativamente altas encontradas en servicio normal (esfuerzos dieléctricos). Esto incluye ondas de impulso y transitorios.
- Calidad para soportar esfuerzos mecánicos y térmicos (calor) los cuales acompañan a un cortocircuito.

- Calidad para prevenir excesivas acumulaciones de calor (transferencia de calor).
- Calidad para mantener las características deseadas para un periodo de vida de servicio aceptable dando un adecuado mantenimiento.

El último material es el sistema aislante líquido que baña las bobinas, el núcleo y los materiales aislantes sólidos. Este fluido sirve para tres propósitos primordiales:

- Provee una adecuada rigidez dieléctrica.
- Proporciona un enfriamiento eficiente.
- Protege a los otros materiales del sistema de aislamiento.

Es evidente que cualquier debilitamiento en el aislamiento puede conducir a una falla en el transformador. El aislamiento está deteriorado cuando a perdido una parte significativa de su propiedad dieléctrica original, característica mecánica o resistencia al impulso. La continuación en el proceso de deterioración terminará en lo inevitable: una falla mecánica o eléctrica.

2.6 TANQUE Y BASTIDOR.

El tanque consiste en el recipiente donde se alojan los circuitos magnéticos y eléctricos juntamente con el bastidor.

Los transformadores deben ser construidos con un tanque hermético, con objeto de preservar el aceite, debe permanecer perfectamente sellado desde una temperatura de $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ a un máximo de $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ en la parte superior del líquido refrigerante. Y proteger eléctrica y mecánicamente su contenido, ofrecer puntos de apoyo para el transporte y la carga del transformador, soportar los enfriadores, bombas de aceite, ventiladores y los accesorios

especiales.

La base del tanque debe ser lo suficientemente reforzada para soportar las maniobras de levantamiento durante la carga o descarga del mismo.

El tanque y los radiadores de un transformador deben tener un área suficiente para disipar las pérdidas de energía desarrolladas dentro del transformador, sin que su elevación de temperatura pase de 55 °C, o más, dependiendo de la clase térmica de aislamiento especificado.

A medida que la potencia de diseño de un transformador se hace crecer, el tanque y los radiadores, por sí solos, no alcanzan a disipar el calor generado, por lo que en diseños de unidades de alta potencia se hace necesario adicionar enfriadores, a través de los cuales se hace circular aceite forzado por bombas, y se sopla aire sobre los enfriadores, por medio de ventiladores.

El Bastidor.- está formado por un conjunto de elementos estructurales que rodean el núcleo y los devanados, y cuya función es soportar los esfuerzos mecánicos y electromagnéticos que se desarrollan durante la operación del transformador.

2.7 ACCESORIOS.

Los accesorios de un transformador son un conjunto de partes y dispositivos que auxilian en la operación y facilitan las labores de mantenimiento.

Entre estos elementos, destacan los siguientes:

2.7.1 Tanque Conservador.-

Es un tanque extra colocado sobre el tanque principal del transformador, cuya función es absorber la expansión del aceite debido a los cambios de temperatura, provocados por los incrementos

de carga. El tanque se mantiene lleno de aceite aproximadamente hasta la mitad. En caso de una elevación de temperatura, el nivel de aceite se eleva comprimiendo el gas contenido en la mitad superior si el tanque es sellado, o expulsando el gas hacia la atmósfera si el tanque tiene respiración.

La tubería entre los dos tanques debe permitir un flujo adecuado de aceite. En ella se instala el relevador de gas (Bucholz) que sirve para detectar fallas internas en el transformador.

En el conservador no debe permanecer el aceite en contacto con el aire. Por un lado, porque al estar variando el nivel del aceite, el aire que penetra tiene humedad que se condensa en las paredes y escurre hacia adentro del transformador; y por otro lado, porque el aceite en contacto con el aire se oxida y pierde también características dieléctricas. Para evitar lo anterior, se utilizan diversos métodos de protección: uno es por medio de una lámina de neopreno que se mueve simultáneamente con la variación del nivel de aceite y evita el contacto aire – aceite, y otro es llenar la parte superior del conservador con nitrógeno seco y sellar el tanque conservador.

2.7.2 Cambiador de Derivaciones (Taps).-

Constituye el mecanismo que permite regular la tensión de energía que fluye de un transformador. Puede ser de operación automática o manual, puede instalarse en el lado de alta o de baja tensión dependiendo de la capacidad y tensión del transformador, aunque conviene instalarlos en el de alta tensión, debido a que su costo disminuye debido a que la intensidad de corriente es menor.

2.7.3 Boquillas.-

Son los aisladores terminales de los devanados de alta y baja tensión que se utilizan para atravesar el tanque o la tapa del tanque del transformador.

2.7.4 Válvulas.-

Es un conjunto de dispositivos que se utilizan para el llenado, vaciado, mantenimiento y muestreo del aceite del transformador.

2.7.5 Conectores de Tierra.-

Son unas piezas de cobre soldadas a tanque, donde se conecta el transformador a la red de tierra.

2.7.6 Placa de Características.-

Esta placa se instala en lugar visible del transformador donde se graban los datos más importantes como son potencia, tensión, porcentaje de impedancia, número de serie, diagramas vectorial y de conexiones, número de fases, frecuencia, elevación de temperatura, altura de operación sobre el nivel del mar, tipo de enfriamiento, porcentaje de variación de tensión en los diferentes pasos del cambiador de derivaciones, peso y año de fabricación.

Para transformadores de potencia se incluyen los siguientes accesorios:

Termómetros con y sin contacto de alarma.

Niveles de aceite con y sin contacto de alarma.

Relevador Buchholz.

Ventiladores, etc.

CAPITULO III

SECADO DE TRANSFORMADORES

PARA SU MANTENIMIENTO

3.1 PRUEBAS ELÉCTRICAS.

Un transformador es probado para verificar, si efectivamente funcionará para las condiciones de diseño, en el tiempo de vida útil de la máquina.

En general, las pruebas se aplican tanto a transformadores nuevos recién construidas como a transformadores que ya vienen operando, cuando se les somete a mantenimiento preventivo o correctivo.

3.1.1 Clasificación de las Pruebas Eléctricas.

A. Pruebas en Fábrica. Estas a su vez se agrupan en tres partes:

- a) Pruebas que nos determinan la calidad de su fabricación. Estas pruebas nos verifican la calidad con que el transformador fue fabricado; así como también, evaluar el estado en que se encuentra para soportar las condiciones normales de operación y las anormales provocadas por condiciones de falla o de sobretensiones de tipo atmosférico. Estas pruebas son:
- Resistencia de aislamiento.
 - Factor de disipación del aislamiento.
 - Rigidez dieléctrico del aceite.
 - Relación de transformación y polaridad.

- Resistencia óhmica de los devanados
- Potencial aplicado.
- Potencial inducido.
- Impulso por descarga atmosférica.
- Prueba de temperatura.
- Prueba de cortocircuito.

b) Pruebas que nos determinan la calidad de servicio. Este conjunto de pruebas da a conocer la eficiencia de trabajo del transformador, así como su regulación de tensión. Además, determina si la máquina está dentro del % de impedancia y corriente de excitación establecidos en garantía. Estas pruebas son:

- Pérdidas en los devanados y % de impedancia
- Pérdidas en núcleo y % de corriente de excitación.

c) Pruebas para determinar la calidad de operación del transformador. Estas pruebas determinan la vida útil del transformador, y que está en función de la rapidez con que envejezca el aislamiento. Estas pruebas son:

- Temperatura o Calentamiento.
- Hermeticidad.
- Descargas parciales.

B. Pruebas de embarque. Recomendado solamente a transformadores de potencia.

- a) Fugas de aceite.
- b) Punto de rocío.

- c) Detección de impactos.
- d) Corriente de excitación a 2500 volt.

C. Pruebas de campo. Recomendado solamente a transformadores de potencia.

- a) Pruebas en servicio:
 - Punto de rocío.
 - Resistencia de aislamiento.
Factor de disipación.
 - Resistencia de los devanados.
Rigidez dieléctrica del aceite.
Relación de transformación.
 - Corriente de excitación a 2500 volt.
Alambrado externo.

- b) Mantenimiento preventivo.
 - Punto de rocío.
 - Resistencia de aislamiento.
Factor de disipación.
 - Rigidez dieléctrica del aceite.

3.1.2 Prueba de resistencia de aislamiento.

La prueba de resistencia de aislamiento se realiza en el taller o planta, después de que el transformador ha terminado su proceso de secado y se encuentra a una temperatura entre 0 y 40°C. Esta prueba sirve, básicamente, para determinar la cantidad de humedad e impurezas que contienen los aislamientos del transformador.

La resistencia de aislamiento depende de la temperatura a la cual se encuentra el transformador. Esta prueba se efectúa con el aparato medidor de resistencia de aislamiento conocido como "MEGGER", a una tensión de 1000volt, durante 10min y para una temperatura de

Los criterios de aceptación o rechazo, están determinados por las normas respectivas para transformadores sumergidos en aceite:

Res. Mínima de aislamiento de un transformador de aceite a 20°C, 1 minuto y 1000 volt. de prueba.			
Clases de aislamiento (KV)	Megohm	Clases de aislamiento (KV)	Megohm
1,2	32	92	2480
2,5	68	115	3100
5,0	135	138	3720
8,7	230	161	4350
15,0	410	196	5300
25,0	670	230	6200
34,5	930	287	7750
46,0	1240	345	9300
69,0	1860		

3.1.3 Prueba de factor de disipación de los aislamientos.

El objetivo principal de esta prueba es el verificar el grado de sequedad que contienen los materiales aislantes, por lo cual es una prueba complementaria a la de resistencia de aislamiento.

Se realiza aplicando una tensión alterna de 2,5 KV entre el devanado de alta tensión y el de baja tensión. Con ello circulará una corriente I a través del aislamiento, formado por dos componentes I_c corriente debida a la capacitancia del aislamiento y la corriente I_w debida a la conductancia transversal.

Esta prueba consiste en determinar el factor de disipación ($\tan\delta$) igual a la relación: I_w / I_c . Se realiza con un aparato llamado "PUENTE DE SCHERING", también para una temperatura de 20°C.

Los valores admisibles sugeridos por la mayoría de fabricantes son de 2% como máximo para transformadores de distribución y del 1% para transformadores de potencia. Los resultados de prueba que excedan de los límites establecidos anteriormente no deben ser aceptados.

3.1.4 Prueba de rigidez dieléctrica del aceite.

Esta prueba al aceite es una de las más frecuentes, ya que la tensión de ruptura que un aceite soporta es mucho más valioso, además, esta prueba revela cualitativamente la resistencia momentánea de la muestra del aceite al paso de la corriente y el grado de humedad, suciedad y sólidos conductores en suspensión.

Cuando un aceite rompe a menos de 22KV, se debe proceder a su acondicionamiento por medio de un filtro prensa y una bomba centrífuga para aceite, o una unidad regeneradora de aceite al vacío

3.1.5 Pruebas de relación de transformación y Polaridad.

La prueba de relación de transformación tiene como principal objetivo, la determinación de que la tensión suministrada puede ser transformada a la tensión deseada.

El objetivo de la prueba de polaridad es determinar el desplazamiento angular expresado en grados entre el vector que representa la tensión de línea a neutro en la fase correspondiente en el devanado de baja tensión BT. La polaridad tiene una gran importancia en la conexión de los transformadores, sobre todo si estos han de ser conectados en paralelo o en bancos.

3.1.6 Prueba de resistencia ohmica de los devanados.

Esta prueba sirve básicamente, para comprobar que todas las conexiones internas efectuadas en los devanados y guías, fueron sujetadas firmemente, así como también obtener información para determinar la pérdida de cobre (I^2R) y calcular la temperatura de los devanados en la prueba de temperatura.

El método más usado es el "Puente de Wheatstone" que determina el valor de la resistencia en los devanados con una gran exactitud.

Los devanados que no están bajo prueba deberán permanecer en circuito abierto durante la medición, para con ello lograr una estabilización más rápida de la corriente de alimentación (corriente directa).

3.1.7 Prueba de potencial aplicado.

La prueba de potencial aplicado consiste en verificar que la clase y cantidad de material aislante sean las adecuadas, con el objeto de asegurar que el transformador resistirá los esfuerzos eléctricos a los que se verá sometido durante su operación.

La prueba se efectúa aplicando una tensión a 60Hz, durante un minuto, con un valor no mayor de un cuarto del establecido como voltaje de prueba. Posteriormente se elevará hasta alcanzar el voltaje requerido en un tiempo aproximado de 15 segundos. Para suspender la tensión, se reducirá gradualmente hasta alcanzar por lo menos un cuarto de la tensión máxima aplicada en un tiempo no mayor de 5 segundos.

Entre los criterios de aceptación o rechazo, con los cuales se puede detectar una falla, tenemos:

Incremento brusco de la corriente en forma repentina, durante la prueba; existe la presencia de una falla a tierra o entre los devanados de alta o baja tensión.

Ruido dentro del tanque: al existir un ruido amortiguado o zumbido dentro del tanque, será debido a una distancia crítica o un exceso de humedad.

Humo y burbujas: la presencia de humo y burbujas indicará la existencia de una falla a tierra o entre los devanados de alta y baja tensión, pero si se observan burbujas sin humo, no necesariamente indicarán una falla ya que puede existir aire ocluido en el devanado; por lo que en este caso se recomienda repetir la prueba.

3.1.8 Prueba de potencial inducido.

Esta prueba consiste en probar si el aislamiento entre vueltas, capas y secciones de los devanados del transformador es de la calidad requerida, así como verificar el aislamiento entre bobinas y entre devanados y tierra. La prueba es a doble tensión nominal y hasta completar 7200 ciclos.

Al aplicar una tensión del 200%, el núcleo el flujo aumentará en la misma proporción y para que esta saturación del núcleo no se produzca; entonces la frecuencia habrá que duplicara 120Hz y la duración de la prueba será de un minuto.

Los medios por los que se pueden detectar una falla son los siguientes:

Incremento brusco de corriente: durante la prueba; existe la evidencia de falla en el devanado, ya sea entre vueltas o capas.

Ruidos dentro del tanque: si se presenta un ruido fuerte en el interior del tanque, la falla posible deberse a distancias cortas de los devanados o partes vivas contra el tanque. Si el ruido presentado es amortiguado o en forma de zumbido, la causa puede ser por distancias críticas o por la existencia de humedad.

Humo y burbujas: la existencia de humo burbujas en el aceite es prueba inequívoca de falla entre vueltas o entre capas del devanado. Cuando se presentan algunas burbujas sin humo, no es posible asegurar la existencia de falla, ya que las burbujas pueden haber estado ocluidas entre el devanado.

3.1.9 Prueba de impulso.

Como en muchas ocasiones las fallas en los transformadores son causadas por descargas atmosféricas, es indispensable saber si el aislamiento del transformador, puede soportar dichas descargas a que está sometido durante su operación.

La prueba consiste en aplicar sucesivamente al aislamiento del transformador una onda de impulso completa a tensión reducida, dos ondas de impulso cortadas en la cola y una de onda de impulso completa a tensión plena.

Los medios de detección de falla en los aislamientos al ser sometidos a una prueba de impulso pueden ser:

- Oscilogramas de tensión: se considera como falla, cualquier diferencia que exista entre la onda de tensión reducida y la onda de tensión completa. También se consideran como falla las diferencias que se observen al comparar las ondas cortadas, principalmente en su parte final.

- Humo de burbujas: las burbujas y humo que suben a través del aceite son prueba inequívoca de falla. Sin embargo, las burbujas claras en ausencia de humo no siempre son evidencia de falla; ya que éstas pueden ser originadas por aires ocluidos.
- Ausencia de arqueos en el explosor: si al efectuar la prueba de onda cortada no ocurre un arqueos en el explosor o cualquier parte externa del transformador y el oscilograma muestra una onda cortada, esto es una prueba definitiva de que el arqueos fue dentro del transformador y debe considerarse como falla.
- Ruido dentro del tanque: los ruidos del tanque del transformador en el instante de la aplicación del impulso, son indicación de una falla.

3.1.10 Pruebas para la determinación de pérdidas.

Se refiere a las pruebas de vacío y de cortocircuito.

La prueba de vacío mide las pérdidas en el núcleo que engloba a las pérdidas por histéresis y por corriente de Foucault.

La prueba de cortocircuito, mide las pérdidas en los devanados conocidas también como pérdidas en el cobre.

Las pérdidas deberán estar dentro de los valores garantizados, según normas correspondientes.

3.1.11 Pruebas especiales.

Las pruebas que se consideran como especiales, son: la prueba de temperatura, la prueba de cortocircuito a tensión plena y la prueba de descargas parciales; éstas son aplicables solamente a nivel de prototipos. La prueba de temperatura nos determina la capacidad real del aparato; la de cortocircuito nos garantiza la resistencia

electromecánica de las bobinas, y la de descargas parciales nos diagnostica el comportamiento dieléctrico del sistema aislante del transformador.

3.2 PROCESOS DE CONSTRUCCIÓN.

En transformadores sometidos a mantenimiento, pasarán sólo por algunos procesos, dependiendo del resultado de las pruebas. Mientras que los transformadores recién fabricados pasan por todos los procesos que se describen a continuación:

3.2.1 Proceso de manufactura del Núcleo.

A diferencia de los núcleos apilados, que para su fabricación se necesita una o varias cizallas (o troqueladoras) para el corte de la laminación. Este tipo de manufactura es recomendado para transformadores de potencia.

El núcleo devanado, también conocido como núcleo enrollado, requiere para su construcción de una mayor infraestructura de equipo, pero con ello se consigue una mayor producción, un ahorro considerable de material (acero eléctrico) y bajas pérdidas eléctricas en el hierro. Este tipo es recomendado para transformadores de hasta una capacidad de 500 KVA.

3.2.2 Proceso de manufactura de bobinas.

Al diseñar un tipo de bobina, el diseñador debe escoger la mejor combinación de arreglos posibles para obtener:

- Resistencia dieléctrica adecuada y efectiva contra varios tipos de tensiones: de funcionamiento, falla de sistema, sobrecargas repentinas de conmutación, sobrecargas por rayos y tensiones de

prueba.

- Adecuada ventilación de la bobina para una buena refrigeración.
- Adecuada resistencia mecánica para soportar los esfuerzos electrodinámicos y termomecánicos producidos por corrientes de falla de cortocircuito.
- Las bobinas deben fabricarse a un costo mínimo.

La construcción debe permitir que salgan en forma adecuada las terminales y las tomas. Debe, además permitir arreglos de devanado múltiple y esquemas prácticos para reducir al mínimo las pérdidas por corrientes por corrientes parásitas.

En términos generales, sólo hay dos tipos de disposiciones de bobinas: devanados concéntricos y devanados dispuestos alternativamente cruzados entre sí (bobina tipo dona, también conocida como de anillo). Son usadas muchas combinaciones de ambos tipos por diversos fabricantes. A continuación se da los pasos para fabricar una bobina rectangular concéntrica continua:

Preparación del molde o mandril.- con las dimensiones concordantes con su diseño, y el material puede ser madera (*desflemada, para alargar su duración*), *acero estructural o aluminio*.

Tubo de devanado.- Mecánicamente es el soporte de la bobina y el aislamiento entre la primera vuelta del conductor y el núcleo. El corte del material será de acuerdo a las dimensiones de diseño. El material es cartón comprimido, presspan o pressboard. Para formar el tubo es conveniente hacerlo en una máquina para doblar cartón y antes de hacer los dobleces en el cartón, conviene humedecer con un paño mojado las zonas donde están trazadas las líneas del doblar por las

dos caras. En seguida se somete a un horneado a la temperatura de 80 a 90°C¹ por un tiempo aproximado de una hora para eliminar la humedad.

Devanado de la bobina de BT.-

Barrera Sólida.- Forma el aislamiento entre la bobina de B.T. y la bobina de A.T. Se forma de varias vueltas de papel y un ducto periférico de esta forma: terminada la última vuelta del conductor de la bobina de B.T., se continúa arrollando papel entre capas y al terminar la penúltima vuelta de dicho papel se coloca "la celda". La celda se coloca en el área que el núcleo cubre exteriormente a la bobina. Luego se continúa con la última vuelta de la barrera sólida y, a continuación se posicionan los formaconductos completos con una separación de una pulgada aproximadamente uno de otro.

Devanado de la Bobina de AT.- Sobre los ductos completos se inicia el devanado de AT, según la especificación eléctrica. Al terminar el devanado se coloca un sobre aislamiento especificado previamente.

Dimensionado y Compactado de las Bobinas.- Las bobinas se presionan por medio de dos placas metálicas, intercalando entre bobina y placa una capa de papel, hasta dar las dimensiones requeridas de diseño.

En estas condiciones se procesan con un horno a temperatura de 90°C² durante 24 horas, con lo cual se logra la polimerización de la resina epóxica contenida en el papel aislante, fijando firmemente los conductores al papel, logrando en esta forma incrementar la resistencia mecánica de la bobina. Asimismo, se hace más resistente

a los esfuerzos del cortocircuito.

3.2.3 Construcción del Tanque y Bastidor.

Los transformadores que empleen la refrigeración por líquido deben tener sus núcleos y devanados necesariamente encerrados en tanques que eviten las pérdidas del refrigerante; estos tanques se construyen de acero soldado y pueden tener forma redonda, ovalada, elíptica o rectangular. En los transformadores de distribución, es práctica común utilizar un tanque estanco al medio ambiente con una cámara de aire suficiente entre la tapa y el aceite para permitir que este comprima o dilate el aire encerrado. En algunos transformadores de mayor capacidad, la cámara sobre el aceite se llena de nitrógeno mantenido a una presión ligeramente superior a la atmosférica por medio de una válvula automática accionada por la presión, que admite nitrógeno seco de un cilindro que lo contiene comprimido, también hay una válvula de seguridad.

El calor generado por las pérdidas del conjunto núcleo – bobina, es radiado por las superficies expuestas del transformador hacia el medio de enfriamiento. Cuando el transformador se sumerge en aceite, el calor es transmitido por medio de este, hacia las paredes del tanque y de aquí hacia el aire ambiente.

Para transformadores de mayor capacidad, se usan tanques con los lados corrugados o con tubos, obleas, etc. Para el mantenimiento de los tanques en general, dependiendo de su estado puede requerir algunos o todos los procesos de arenado, soldado y pintado.

Con respecto al Bastidor, que viene a ser la estructura mecánica con

² Aplicación del horno a diseñarse

que se soporta el conjunto núcleo-bobina, para que éste pueda sujetarse al tanque. Este bastidor se construye con acero estructural: ángulos, canales, soleras, etc.

3.2.4 Ensamble del conjunto núcleo – bobina.

Este proceso consiste en el ensamblaje del núcleo a las bobinas; así como aislar y acondicionar las guías de salida de BT (baja tensión) y AT (alta tensión):

Del interior del núcleo se toma la primera lámina, se abre en sus extremos y se abraza el costado de la (s) bobina (s) hasta conformarse, sujetando los extremos de la lámina con cinta adhesiva dieléctrica; se repite el paso con las dos siguientes laminaciones, para luego, tomar el paquete de laminación y repetir la operación anterior, así sucesivamente hasta terminar el paquete de laminación. Finalmente, se dejan flejados los núcleos, perimetralmente.

Después de ensamblar el núcleo a las bobinas se hace la sujeción mecánica del conjunto con el bastidor, luego se procede a aislar las salidas terminales, es decir, las guías de BT se aíslan con cintas de papel crepé y las de AT también con tubos de papel crepé o con mangas de vinil, PVC o vinil fibra de vidrio. Adicionalmente se sueldan los conectores a las guías de AT y se hacen las conexiones al cambiador de derivaciones.

3.2.5 Proceso de secado del conjunto núcleo-bobina.

Para dar una adecuada confiabilidad al transformador en su operación, se tiene que someterlo a un proceso determinante, llamado horneado o secado del conjunto núcleo-bobina; puesto que, cualquier indicio de contenido de humedad en los aislamientos, habrá lugar a un posible

riesgo de falla del transformador.

El secado³ consiste en someter al conjunto núcleo-bobina a un proceso de homeado a la temperatura de 105°C, durante un lapso de tiempo que puede ir de 8 a 14 horas, dependiendo del tamaño de las bobina o la capacidad del transformador.

Inmediatamente después del secado, el transformador se traslada al lugar de ensamblaje para armar el conjunto núcleo-bobina y tanque. Estando todavía con temperatura elevada proceder a hacerle un vacío a una presión negativa de menos de 2 mm de Hg durante unos 30 minutos; transcurrido este lapso y sin romper el vacío, se inyecta el aceite al tanque hasta cubrir completamente las bobinas y guías, llegando de este modo hasta la marca de nivel de aceite; aquí se rompe el vacío inyectando nitrógeno de alta pureza o aire seco.

³ Aplicación del horno a diseñarse

CAPITULO IV

PARÁMETROS DE DISEÑO.

4.1 NORMAS TÉCNICAS A EMPLEAR.

Para el diseño del horno, en lo referente a un mantenimiento de la estructura del horno, se hará uso de los códigos y estándares de la AISC (Instituto Americano del Acero de Construcción), ASTM (Sociedad Americana de Ensayo y Materiales); AISI (Instituto Americano del Hierro y Acero), En cuanto al material a emplearse que también es de vital importancia se hará uso de los códigos y estándares de la ASTM (Sociedad Americana de ensayo y Materiales).

En lo referente a las uniones soldadas; se hará uso de los códigos y estándares de la AWS (Sociedad Americana de Soldadura).

En cuanto al diseño del tanque enfocado como recipiente a presión, se hará uso del Código ASME (Sociedad Americana de Ingeniería Mecánica). También debo hacer referencia a los cursos de pre grado desarrollado en la Universidad, que son muy importantes para la consecución del diseño con los cuales se conseguirá un diseño eficiente y seguro; los cursos a mencionarse son: Resistencia de Materiales, Termodinámica, Elementos de Máquinas, Turbomáquinas y Transferencia de Calor.

4.2 CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DEL HORNO.

En el diseño del horno, cuya aplicación será la fabricación y/o mantenimiento de transformadores, tendremos las siguientes consideraciones.

- Para la realización del secado del sistema de aislamiento en los transformadores, se empleará tres calentadores eléctricos de resistencia, y estarán ubicados en las paredes laterales internas del horno (una por cada pared, a excepción de la pared con puerta).
- El horno tendrá una forma de un paralelepípedo, con dimensiones aparentes para albergar transformadores de Distribución, y transformadores de Potencia de hasta una capacidad de 10 MVA. Es preciso aclarar que los transformadores que ingresarán al horno, serán previamente desarmados; es decir sólo serán sometidos al proceso de secado: el circuito magnético, el circuito eléctrico y el sistema de aislamiento.
- En el diseño se prevé que el horno será totalmente cerrado, compacto y con paredes aislados térmicamente. En el techo del horno, deberá existir un orificio que comunique con el medio exterior, con la finalidad de que la humedad en estado ya de vapor salga por ella; opcionalmente se puede instalar acoplado al agujero un extractor.
- Dentro del ambiente que encierra el horno habrá un ventilador que estará ubicado en la pared lateral frontal. Con la finalidad de que se pueda realizar un eficiente desalojo de humedad, en promedio cada seis horas de secado por un intervalo de diez minutos; dicha ventilación no afectará en gran manera la radiación de calor originados en los calentadores.
- Para la implementación del ventilador se diseñará un sistema de

transmisión de potencia compuesto por: las poleas motriz, polea conducida, faja, motoreductor y rodamientos.

El piso del horno, será de concreto, preparado especialmente con una ligera pendiente para encausar el aceite dieléctrico que suele chorrear por tratarse de transformadores tipo OA, a modo de soporte de los transformadores a secarse se dispondrán en el piso del horno canales metálicos. Para poder cumplir las disposiciones de protección ambiental, el piso de concreto se puede forrar con una alfombra de PCV, de esta manera se estará evitando la contaminación del suelo por filtración de aceite dieléctrico.

Para el control del funcionamiento tanto de los calentadores eléctricos y del ventilador y del horno para su respectivo encendido y apagado; se hará a través del tablero Eléctrico, manteniendo la temperatura requerida en el interior del horno. Adicional e independientemente del tablero se considerará un termómetro para la lectura de la temperatura al interior del horno.

- La temperatura de diseño será de 120°C, entendiéndose que es la temperatura máxima para la operación más exigida, para otros requerimientos, la temperatura de operación será menor.

4.3 PARÁMETROS DE LOS TRANSFORMADORES DE POTENCIA.

Entre todos los parámetros, se mencionará solamente los que tengan relación con el diseño del horno:

- **POTENCIA.**- Se entiende, como la capacidad del transformador expresado en KVA ó MVA.
- **VOLTAJE O TENSION.**- Es la fuerza que origina el flujo de corriente y se

expresa en volt: V ó KV

- **CORRIENTE**.- Partículas eléctricas (electrones) libres que se mueven en un cierto sentido dentro de un conductor o devanado del transformador, se expresa en Amper (A).
- **BIL (BASIC IMPULSE INSULATION LEVEL)**.- Es el Nivel Básico de Aislamiento al Impulso, y representa la capacidad de un transformador de soportar una sobre-tensión producida por una descarga atmosférica o por una apertura – cierre del circuito de alimentación del transformador. Indica la tensión máxima de la sobretensión que debe soportar el equipo. El BIL se expresa en (KV).

4.4 PARÁMETROS PARA EL DISEÑO DEL HORNO.

Donde podamos apreciar que exista un gradiente de temperatura en un determinado sistema o cuando se pone en contacto dos sistemas a diferentes temperaturas, se transfiere energía. Donde el proceso por el cual tiene lugar el transporte de la energía, se conoce como transferencia de calor.

Es el caso del horno donde se va a desarrollar una importante transferencia de calor.

4.4.1 Mecanismos de Transmisión de calor.

La transferencia de calor reconoce tres modos distintos de transmisión de calor que son: conducción, convección y radiación. Hablando estrictamente, únicamente la conducción y radiación se deberían clasificar como procesos de transferencia de calor, porque solamente estos dos mecanismos dependen para su operación, de la existencia de una diferencia de temperatura; mientras que la convección no cumple estrictamente esta condición, pero si se realiza transmisión de

energía desde una región de temperatura más alta a otra región de temperatura más baja. Cabe resaltar que en las situaciones que se presentan en la naturaleza, el calor fluye no por uno si no por dos o tres de estos mecanismos que actúan en forma simultánea, tales consideraciones se aplicarán en el diseño del horno.

Conducción.- El mecanismo por conducción es un proceso mediante el cual fluye el calor desde una región de temperatura alta a una región de temperatura baja dentro de un medio (sólido, líquido o gaseoso) o entre medios diferentes en contacto físico directo; en conclusión, es un mecanismo de transmisión de calor que se produce debido básicamente al contacto molecular:

$$q_k = -K.A. \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad \text{----- (4.1)}$$

Donde:

q_k : transferencia de calor por conducción [watt]

K : conductividad térmica [W / m °K]

ΔT : Variación de temperatura [°K]

Δx : Variación de longitud [m]

A : Area de transferencia

También:

$$q_k = -K.A. \frac{\partial T}{\partial x} = -K.A. \frac{\Delta T}{e} = \frac{\Delta T}{\left(\frac{e}{A.K} \right)}$$

$$q_k = \frac{\Delta T}{R_K} \quad \text{----- (4.2)}$$

donde: $R_K = \frac{e}{A_K}$ ----- (4.3)

e: espesor del material

Convección.- Es un mecanismo de transmisión de calor en el cual se combina la transmisión de calor por conducción con el movimiento del fluido, que está intercambiando con una superficie. Newton, en el año 1701 anunció: la ley de enfriamiento:

$$q_C = \bar{h}_C \cdot A_S \cdot (t_S - t_\infty) \text{ ----- (4.4)}$$

Donde:

q_C : Calor por convección [W]

\bar{h}_C : Coeficiente pelicular de calor [W / m² °K]

A_S : Area de superficie en contacto [m²]

t_S : Temperatura de superficie [°K]

t_∞ : Temperatura del medio ambiente.[°K]

dentro de la convección se considera dos tipos, el de convección libre (donde no hay agente externo) y convección forzada (donde hay agente externo).

Radiación.- Es un mecanismo de transmisión de calor por ondas electromagnéticas, y en este mecanismo de transmisión, para su propagación no es necesario que exista materia, porque incluso se puede transmitir calor en el vacío.

$$q_r = A \cdot \epsilon \cdot \zeta \cdot T^4 \text{ ----- (4.5)}$$

Donde:

q_r : Calor por radiación [Watt]

A: Area de transferencia de calor [m²]

ε :emisividad.

ζ :constante de Boltzman [$5,67 \times 10^{-8} \text{ W / m}^2\text{oK}^4$]

T: Temperatura [$^{\circ}\text{K}$]

NOTA: cuando $\varepsilon =1$, se obtiene el calor por radiación por Cuerpo Negro

4.4.2 Materiales a usar en el Diseño del Horno.

Se empleará los siguientes materiales:

- Planchas de acero inoxidable $E=200 \times 10^9 \text{ N/m}^2$ (módulo de Young).

NOTA: para materiales dúctiles como el acero inoxidable y acero estructural, el módulo de Young tiene igual valor tanto para tensión como para compresión. Pero para materiales frágiles como en fundiciones dicho módulo es diferente en compresión y tensión.

- Planchas de acero rugoso, ángulos, canales; que serán de acero estructural, cuyo módulo de Young es $E=200 \times 10^9 \text{ N/m}^2$.
- Material para las resistencias (calentadores eléctricos).
Polea Motriz, Polea Conducida, ejes serán de acero.
- Pintura epóxica para horno, color aluminio.
- Alfombra de PCV, para evitar el filtrado de aceite dieléctrico al suelo. Deberá ser resistente a temperaturas de secado.

4.4.3 Conductividad.

La conductividad térmica simbolizada por "K" es una propiedad de cada material que indica la cantidad de calor que fluirá a través de un área unitaria si el gradiente de temperatura es la unidad. La unidad correspondiente a la conductividad es [$\text{W / m }^{\circ}\text{K}$].

Los materiales con una alta conductividad térmica son los denominados conductores; mientras que los materiales que poseen

una baja conductividad son los aislantes.

En el diseño del horno se empleará:

- $K_{\text{ACEROINOX}} = 16,09 \text{ W/m}^\circ\text{K}$
- $K_{\text{FIBRA DE VIDRIO}} = 0,0448 \text{ W/m}^\circ\text{K}$

Más valores referenciales de conductividad en $[\text{W/m}^\circ\text{K}]$ para otros materiales se tiene:

- Metales puros: 34,6 ----- 432
- Aleaciones metálicas: 15,57 ----- 172,9577
- Metales líquidos: 8,65 ----- 86,48
- Líquidos (no metálicos): 0,17 ----- 1,729577
- Sólidos (No metálicos): 0,017 ----- 17,29577
- Materiales aislantes: 0,017 ----- 0,1729577

4.4.4 Coeficiente Pelicular.

El coeficiente pelicular por convección (\bar{h}), es realmente una función complicada del flujo del fluido, de las propiedades térmicas del fluido y de la geometría del sistema. Su valor numérico en general no es uniforme sobre una superficie y depende también del lugar donde se mide la temperatura del fluido T_∞ .

Para nuestro diseño se considerará el \bar{h} de acuerdo a los siguientes valores correspondientes al medio ambiente:

Para $T_\infty = 20^\circ\text{C}$, $\bar{h} = 18 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{K}$

Aquí se muestra valores promedio de \bar{h} expresados en $[\text{W/m}^2 \text{ }^\circ\text{K}]$, para algunas situaciones:

- Aire convección libre: 5 ----- 25
- Agua convección libre: 120 ----- 1160

- Aire o vapor sobrecalentado: 15 ----- 300
(Convección Forzada)
- Agua convección forzada: 300 ----- 12000
- Agua hirviendo: 3000 ----- 55000
- Vapor condensándose: 5500 ----- 100000

4.4.5 Cuerpo Negro y Gris.

La definición de estos dos cuerpos, para un mejor entendimiento de la transferencia de calor por radiación, es la siguiente:

Cuerpo Negro.- Se denomina cuerpo negro a un cuerpo ideal que transmite calor mayoritariamente, por el mecanismo de radiación. Es un cuerpo ideal que tiene la propiedad de poder emitir y/o absorber la mayor cantidad de calor radiante que cualquier otro cuerpo, a determinadas temperatura y longitud de onda.

$$q_r = A\zeta T^4 \text{ ----- (4.6)}$$

Cuerpo Gris.- Es un cuerpo ideal que tiene la particularidad de emitir y/o absorber una cantidad de calor radiante que siempre es una fracción constante, emitida por un cuerpo negro a una determinada temperatura y longitud de onda. Para algunos casos reales se aproxima a esta definición.

$$q_r = A\varepsilon\zeta T^4 \text{ ----- (4.7)}$$

donde q_r : calor radiante del cuerpo gris.

4.4.6 Potencia Emisiva.

La **potencia emisiva (E)** es la cantidad de energía radiante o emisión radiante que emite un cuerpo en función de su nivel de temperatura. Esta energía desprendida es por unidad de área.

$$E = \varepsilon \cdot \zeta \cdot T^4 \text{ ----- (4.8)}$$

E (Potencia emisiva total) se expresa en [W/m²]

Para un cuerpo negro (E_k: Potencia emisiva monocromática):

$$E_k = \zeta \cdot T^4$$

4.4.7 Irradiación, Radiosidad y Emisividad.

La definición de estos términos es la siguiente:

Irradiación (G).- Se le define como la rapidez a la cual la radiación está incidiendo sobre una superficie, donde la irradiación se da para todas las posibles direcciones.

$$G = \int_0^{\infty} G_{\lambda} \cdot d_{\lambda} \text{ ----- (4.9)}$$

Radiosidad (J).- Es la rapidez a la cual la radiación abandona una superficie, en donde esta radiación está relacionada a la intensidad asociada con la emisión que se da. La radiación se produce para todas las direcciones posibles.

$$\int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} I_{\lambda_{\text{etr}}}(\lambda, \theta, \phi) \cdot \cos\theta \cdot \text{sen}\theta \cdot d\theta \cdot d\phi \text{ ----- (4.10)}$$

Emisividad (ε).- Se define como la relación de la intensidad de la radiación emitida respecto a la intensidad de la radiación emitida por un cuerpo negro.

$$\varepsilon_{(T)} = \frac{\int_0^{\infty} \varepsilon_{\lambda} \cdot d_{\lambda}}{2\pi \int_0^{\infty} E_{b\lambda} \cdot d_{\lambda}} \text{ ----- (4.11)}$$

Para el diseño del horno se tomará valores de la tabla del apéndice:

$$\varepsilon_{\text{calentador rugoso}} = 0,95 \quad ; \quad \varepsilon_{\text{Acero Inox. Intemperizado}} = 0,95$$

Los otros valores para los demás materiales se pueden apreciar en el apéndice de la presente tesis.

4.4.8 Absortividad, Reflectividad y Transmisividad

Estos términos tienen las siguientes definiciones:

Absorbidad (α).- Es la fracción de la radiación incidente absorbida por un cuerpo.

$$\alpha = \frac{\int_0^{\infty} \alpha_{\lambda} G_{\lambda}(\lambda) d\lambda}{\int_0^{\infty} G_{\lambda}(\lambda) d\lambda} \quad \text{----- (4.12)}$$

Reflexividad (ρ).- Es una propiedad que determina la fracción de la radiación incidente que es reflejada por una superficie.

$$\rho = \frac{\int_0^{\infty} \rho_{\lambda} G_{\lambda}(\lambda) d\lambda}{\int_0^{\infty} G_{\lambda}(\lambda) d\lambda} \quad \text{----- (4.13)}$$

Transmisividad (τ).- Es la propiedad que determina la fracción de radiación incidente que es transmitida por un cuerpo.

$$\tau = \frac{G_{\text{tran}}}{G} \quad \text{----- (4.14)}$$

Se cumple que:

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \quad \text{----- (4.15)}$$

4.5 ACCESORIOS DEL HORNO.

Para un buen funcionamiento del horno debe equiparse con los siguientes accesorios:

4.5.1 Ventilador Axial.

Se ubicará en el interior del horno, un ventilador axial, que es una máquina o dispositivo el cual transfiere energía al aire que fluye continuamente gracias a la acción dinámica de una o varias hileras de álabes móviles para poder evacuar el vapor y humedad del transformador producidos por el calor proveniente de los calentadores.

Se tiene para un ventilador axial:

Nq : Número específico de revolución de caudal.

ψ : Cifra de presión.

η : Eficiencia del ventilador.

Sin Estator	Nq	ψ	η
	250 – 600	< 0,15	0,6 – 0,75

Cifra de velocidad (ζ):

$$\zeta = \frac{Nq}{158,1} \text{ ----- (4.16)}$$

Relación experimental (ν):

$$\nu = \frac{Di}{De} \geq \sqrt{0,84 \psi}$$

Número de álabes (z):

$$z = K \cdot \frac{\nu}{1-\nu} \quad ; \quad K : \langle 10 \dots 12 \rangle \quad , \quad z : \langle 5 \dots 6 \rangle$$

Recomendaciones:

η_v : 0,98 (eficiencia volumétrica).

η_m : 0,96 (eficiencia mecánica)

C_s : 0,6 0,9 (cifra de carga)

4.5.2 Mecanismo de Transmisión Para el Ventilador.

Para darle energía mecánica (movimiento) al ventilador, es necesario contar con un mecanismo de transmisión, el cual estará formado por un eje conectado al ventilador, las poleas motriz y conducida, así mismo una faja de transmisión al igual que las chumaceras para que pueda girar el eje del ventilador. Los cálculos a efectuarse tendrán base a la teoría desarrollada en el curso de elementos de máquinas juntamente con el uso de las tablas del Ing. Hori Asano.

4.5.3 Expulsión de humedad del horno.

Para poder expulsar la humedad del interior del horno podríamos considerar dos formas de hacerlo: primero, el de la extracción natural que solo consta de un orificio en el techo del horno a modo de chimenea con un diametro de 50mm, el vapor saldrá expulsado gracias al impulso generado por el ventilador axial Segundo: Utilizando un extractor de humedad, caso que no es necesario.

4.5.4 Tablero eléctrico.

Para poder controlar el buen funcionamiento del horno, se instalará un tablero de control eléctrico. El cual protegerá del calentamiento o cortocircuito que pudiera darse en los cables de alimentación de los calentadores eléctricos, ventilador. Dicha protección será a través de interruptores termomagnéticos.

A través de pulsadores se podrá accionar el encendido o apagado de los calentadores eléctricos y ventilador. Una vez producido el encendido de los calentadores, la temperatura será seleccionada en forma para la temperatura de trabajo hasta un máximo de 120°C, la temperatura requerida podrá mantenerse en un rango determinado dentro del horno gracias al termostato, hasta que termine el proceso de secado y pueda apagarse manualmente con el correspondiente pulsador. Seguidamente se encenderá el ventilador para expulsar el vapor por un tiempo de 10 minutos en promedio.

4.5.5 Calentadores eléctricos.

Los calentadores eléctricos a usarse serán de resistencia en número de tres unidades, dispuestos en tres paredes laterales internas del horno a excepción de la frontal que es la puerta del horno. Por recomendaciones de diseño se usará tres calentadores de una potencia de 2500 w cada uno y operarán con una tensión de 220 volt. El material de la resistencia será el micróm.

4.5.6 Termómetro y Termostato.

El termostato estará instalado en el interior del horno adherido a la pared lateral de modo que al alcanzar la temperatura requerida en el proceso de secado del transformador, inmediatamente el contactor eléctrico interrumpirá el flujo de corriente eléctrica hacia los calentadores eléctricos y luego cuando disminuya un tanto la temperatura requerida (detectada por el termostato), nuevamente el contactor restablecerá el flujo de corriente eléctrica hacia los calentadores. Este ciclo de encendido y apagado automático perdurará durante todo el proceso de secado (10 a 14 horas).

Para fines de control visual de la temperatura complementario e independiente al del tablero eléctrico, se instalará un termómetro en la pared interna correspondiente al de la puerta del horno; que permitirá leer la temperatura al interior del horno.

Cabe mencionar que la temperatura máxima de operación del horno será de 120°C.

CAPITULO V

DISEÑO Y CÁLCULO DEL HORNO.

5.1 REPRESENTACIÓN TÍPICA DEL HORNO.

Para poder diseñar el horno, ubicaremos estratégicamente los calentadores eléctricos de resistencia de micróm y el ventilador en la parte interior del horno, los cuales son fundamentales para

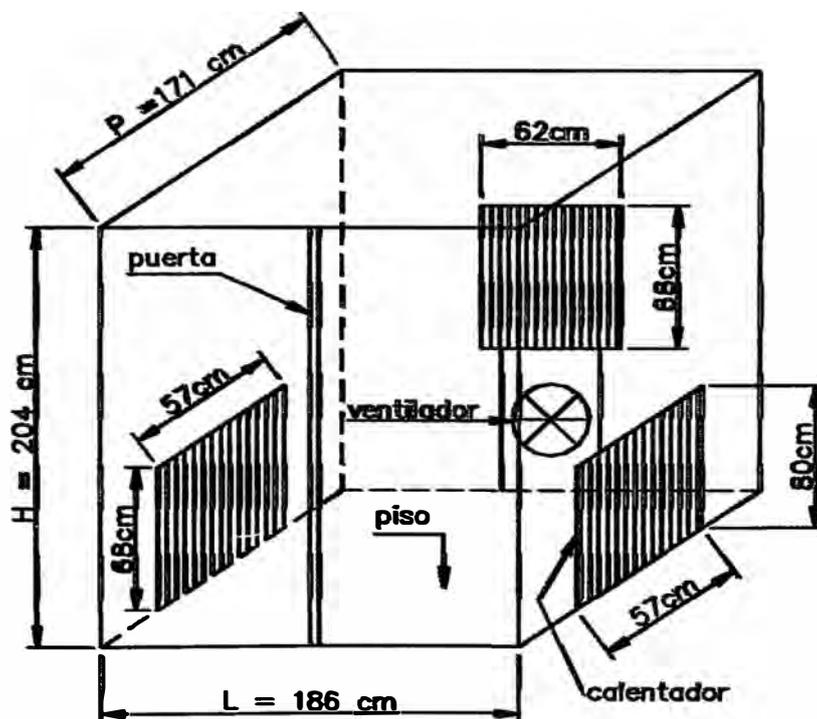


FIG. 5.1

lograr la función y objetivos que cumplirá el horno en el mantenimiento y/o fabricación de transformadores.

5.2 DISEÑO DE LOS CALENTADORES ELÉCTRICOS.

Los calentadores eléctricos por resistencia a utilizarse, serán en número de tres y ubicados como en la figura 5.1; la potencia de cada calentador será de 2500 W, esto se toma por recomendaciones de construcción de hornos.

$$P = I^2 R = \frac{V^2}{R} \quad \text{-----} \quad (5.1)$$

Donde:

V: Tensión o voltaje [volt]; V=220 volt

P: Potencia [watt]; P=2500W

R: Resistencia [ohmio].

De la ecuación 5.1 se tiene, $R = \frac{V^2}{P} = \frac{220^2}{2500} = 19,36\Omega$; $R = 19,36\Omega$

También:

$$R = \frac{\rho L}{A} \quad \text{-----} \quad (5.2)$$

Donde:

ρ : Resistividad del conductor.

L: Longitud de la resistencia

A: Sección de la resistencia.

5.2.1 Cálculo de la sección de las resistencias.

Para poder calcular la sección de la resistencia se considerará aproximadamente 1,5m de longitud, doblado en forma de "M" para que pueda calzar en el panel provisto para el calentador. La resistividad del material a utilizar es de $6,24 \times 10^{-4} \Omega.m$.

De la ecuación 5.2 despejamos el área, resultando:

$$A = \frac{\rho L}{R} = \frac{6,24 \times 10^{-4} \Omega \cdot m \cdot 1,5m}{19,36 \Omega} = 4,8347 \times 10^{-5} m^2$$

$$A = 4,8347 \times 10^{-5} m^2$$

Generalmente en el mercado se puede encontrar resistencias de sección circular; por lo tanto calcularemos el diámetro de la sección de la resistencia.

Se sabe que: $A = \pi \cdot D^2 / 4$, despejando el diámetro se tiene:

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 4,8347 \times 10^{-5} m^2}{\pi}} = 7,8458468 \times 10^{-3} m$$

$$D = 7,8458468 \times 10^{-3} m$$

NOTA: Estas resistencias bien se podrían mandar para su fabricación, pero para reducir costos, se puede buscar en el mercado con las características calculadas; y se podría elegir una resistencia denominada en el mercado de "CHROMALOX AMERICANO" cuyas características son las siguientes:

$$L = 156 \text{cm} = 1,56 \text{m} > 1,5 \text{m} ; \Rightarrow \text{OK!}$$

$$D = 5/16" = 7,9375 \text{mm} > 7,8458468 \text{mm} ; \Rightarrow \text{OK!}$$

En cuanto al material de la resistencia debe ser el mismo cuya resistividad será de $\rho = 6.24 \times 10^{-4} \Omega \cdot m$.

5.2.2 Cálculo de la temperatura en la superficie de los calentadores.

Para poder calcular la temperatura en la superficie de la resistencia, primero se obtendrá la cantidad de corriente eléctrica que está circulando, de la ecuación 5.1 se obtiene:

$$I = \sqrt{\frac{P}{R}} = \sqrt{\frac{2500 \text{watt}}{19,36 \Omega}} = 11,36 A$$

$$I = 11,36A$$

NOTA: se considerará a la resistencia y al medio ambiente como Cuerpos Negros. (Por consideración de diseño)

El medio ambiente tiene una temperatura $T_{\infty} = 20^{\circ}C$;

El coeficiente pelicular convectivo $\bar{h}_c = 25 \frac{W}{m^2 \cdot ^{\circ}K}$

$$P = I^2 \cdot R = Q \text{ ----- (5.3)}$$

donde:

P: Potencia [W] ; Q: Calor [W]

Luego, reemplazando valores en la ec. 5.3:

$$P = 11,36^2 \times 19,36 = 2499 \text{ W} \approx 2500 \text{ W} = Q$$

$$Q = 2500W.$$

$$q' = \frac{Q}{L} \text{ ----- (5.4)}$$

Donde:

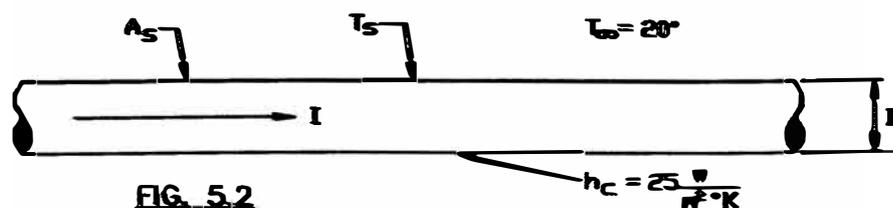
q': Calor por unidad de longitud [w/m]

L: Longitud [m]

$$\text{Entonces; } q' = \frac{2500}{1,56} = 1602,56 \text{ W/m}$$

$$q' = 1602,56 \text{ W/m}$$

La resistencia:



$$\text{se cumple: } q' = (h_c + h_r) \cdot A_s \cdot (T_s - T_{\infty}) \text{ ----- (5.5)}$$

Donde: h_c : Coeficiente pelicular de convección

h_r : Coeficiente pelicular de radiación.

A_s : Area de superficie de resistencia.

T_∞ : Temperatura del medio ambiente

T_s : Temperatura de superficie de resistencia.

Remplazando en ec. 5.5; donde $T_\infty=20^\circ\text{C}=293^\circ\text{K}$.

$$1602,56 = (25 + h_r) \cdot (\pi \cdot D \cdot L) \cdot (T_s - 293)$$

$$1602,56 = (25 + h_r) \cdot (\pi \times 7,9375 \times 10^{-3} \times 1,56) \cdot (T_s - 293)$$

$$41196 = (25 + h_r) \cdot (T_s - 293) \text{ ----- (5.6)}$$

También se sabe que para un Cuerpo Negro:

$$q'_r = \zeta \cdot A_s \cdot (T_s^4 - T_\infty^4) \text{ ----- (5.7)}$$

Donde: ζ : Constante de Boltzman $\{5,669 \times 10^{-8} \text{ W / m}^2 \text{ }^\circ\text{K}^4\}$

Así mismo sabemos que:

$$q'_r = \bar{h}_r \cdot A_s \cdot (T_s - 293) \text{ ----- (5.8)}$$

Igualando las ecuaciones 5.7 y 5.8:

$$\zeta \cdot A_s \cdot (T_s^4 - 293^4) = \bar{h}_r \cdot A_s \cdot (T_s - 293)$$

$$\bar{h}_r = \zeta \left(\frac{T_s^4 - 293^4}{T_s - 293} \right)$$

$$\bar{h}_r = 5.669 \times 10^{-8} \cdot (T_s^2 + 293^2) \cdot (T_s + 293) \text{ ----- (5.9)}$$

Procedemos a probar y tabular datos:

- En la ec. 5.6, se asume $h_{r \text{ asumido}}$ y hallamos T_s
- Luego en la ecuación 5.9, con T_s se halla h_r calculado:

Donde tiene que cumplirse: $h_{r \text{ asumido}} = h_{r \text{ calculado}}$

Nº	h_r asumido	T_s [°K]	h_r calculado
1	21	1188,57	125,86
2	30	1042,02	88,67
3	40	926,78	65,33
4	45	881,51	57,46
5	50	842,28	51,18
6	50,1	841,55	51,07
7	50,5	838,64	50,6

Por lo tanto; la temperatura en la superficie de la resistencia será de:

$$T_s = 838,64^\circ\text{K} = 565,64^\circ\text{C}$$

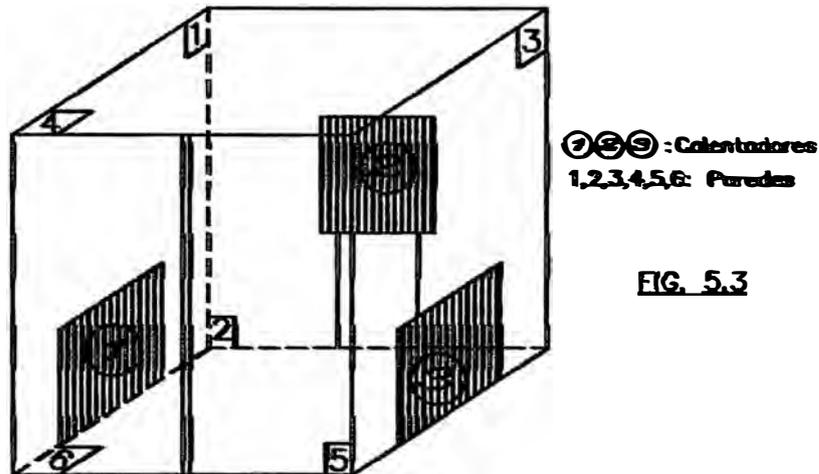
5.3 DISEÑO DE LAS PAREDES DEL HORNO.

Para poder diseñar cada una de las paredes del horno, tenemos que calcular la cantidad de calor irradiada por los calentadores en cada una de las paredes internas del horno, según la figura 5.1, paso seguido consideraremos el aislante para que el calor no pueda salir al medio ambiente, pero de todas maneras saldrá en una mínima proporción. También se debe señalar que las paredes del horno, con las dimensiones consideradas y el calor al que será sometido, no podrá tener una estabilidad y que con el paso del tiempo se podría pandear adquiriendo una flecha exagerada; por lo tanto para evitar esto tendremos que agregar refuerzos verticales y horizontales. Dichos refuerzos podrían ser ángulos canales o "T" de acero, donde cualquiera de ellos podrá cumplir el papel de refuerzos satisfactoriamente.

Las paredes internas y externas del horno serán forradas con planchas de acero inoxidable; por lo tanto se procederá a calcular el calor en cada una de las paredes internas del horno:

5.3.1 Calor radiante transferido desde la superficie de calentadores a cada pared del horno.

Para calcular el calor radiante designaremos con números a las paredes del horno como se muestra en la siguiente figura 5.3:

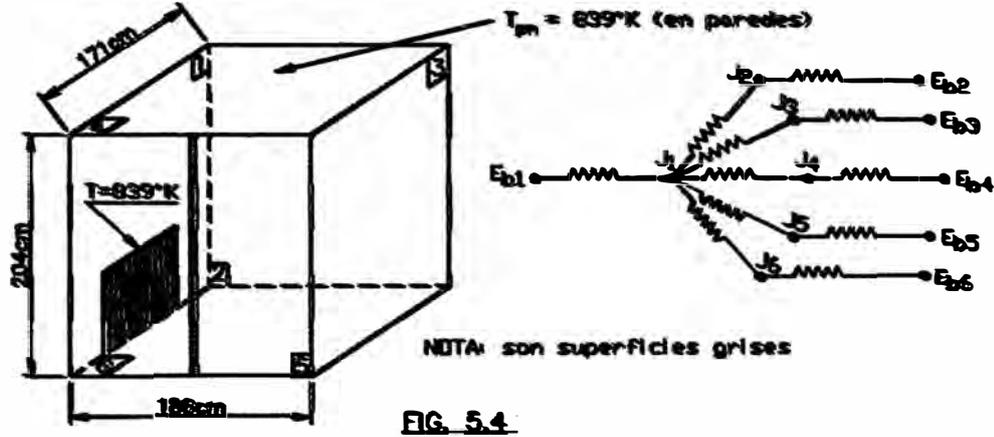


La temperatura que se desea tener en todo el ambiente encerrado por el horno es de 120°C; por lo que al conseguir esta temperatura, las paredes internas del horno tales como 4, 5 y 6 tendrán una temperatura promedio de 120°C; con esto debo indicar que los puntos más cercanos hacia los calentadores se encontrarán a mayor temperatura de los 120°C y los puntos más lejanos a los calentadores se encontrarán a un poco menos de 120°C o aproximándose a esta temperatura. Pero para realizar los cálculos basados en el curso de Transferencia de Calor, emplearemos la temperatura promedio en cada una de las paredes internas del horno de 120°C; por lo tanto:

$$T_{\text{promedio}} = 120^{\circ}\text{C}$$

A) Calor Transferido del Calentador 1 a las demás Paredes

El esquema de transferencia de calor será el siguiente



Leyenda: Potencia Emisiva (E), Radiosidad (J) y Cuerpo Gris Ver: subcapitulos 4.4.5, 4.4.6, 4.4.7

El calor radiante transferido del calentador 1 a cada una de las paredes es el siguiente:

$$q_{1-2} = \frac{Eb_1 - Eb_2}{\frac{1 - \epsilon_1}{A_1 \cdot \epsilon_1} + \frac{1}{A_1 \cdot F_{12}} + \frac{1 - \epsilon_2}{A_2 \cdot \epsilon_2}} \quad \text{----- (5.9)}$$

$$q_{1-3} = \frac{Eb_1 - Eb_3}{\frac{1 - \epsilon_1}{A_1 \cdot \epsilon_1} + \frac{1}{A_1 \cdot F_{13}} + \frac{1 - \epsilon_3}{A_3 \cdot \epsilon_3}} \quad \text{----- (5.10)}$$

$$q_{1-4} = \frac{Eb_1 - Eb_4}{\frac{1 - \epsilon_1}{A_1 \cdot \epsilon_1} + \frac{1}{A_1 \cdot F_{14}} + \frac{1 - \epsilon_4}{A_4 \cdot \epsilon_4}} \quad \text{----- (5.11)}$$

$$q_{1-5} = \frac{Eb_1 - Eb_5}{\frac{1 - \epsilon_1}{A_1 \cdot \epsilon_1} + \frac{1}{A_1 \cdot F_{15}} + \frac{1 - \epsilon_5}{A_5 \cdot \epsilon_5}} \quad \text{----- (5.12)}$$

$$q_{1-6} = \frac{Eb_1 - Eb_6}{\frac{1 - \epsilon_1}{A_1 \cdot \epsilon_1} + \frac{1}{A_1 \cdot F_{16}} + \frac{1 - \epsilon_6}{A_6 \cdot \epsilon_6}} \quad \text{----- (5.13)}$$

se sabe que: $E_b = \zeta.T^4$ ----- (5.14)

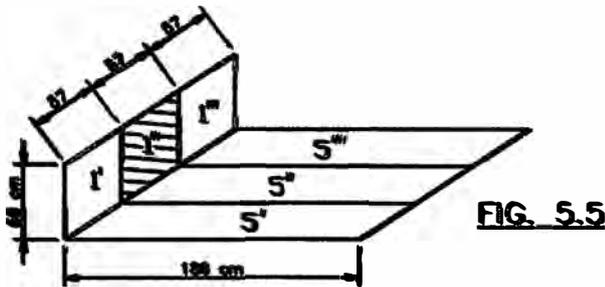
El calentador estará cubierto con una plancha de acero (placa rugosa) de emisividad $\epsilon = 0,95$ y la parte interna del horno estará cubierto con planchas de acero inoxidable – Intemperizado, cuya emisividad es: $\epsilon = 0,85$.

Por lo tanto, $\epsilon_1 = 0,95$; $\epsilon_2 = \epsilon_3 = \epsilon_4 = \epsilon_5 = \epsilon_6 = 0,85$,

Paso seguido hallaremos el factor de vista con cada una de las paredes internas del horno.

Caso (a), con calentador "1"

- Con la pared "6"



$$A_{1''}.F_{1''-6} = A_{1''}.F_{1''-6'} + A_{1''}.F_{1''-6''} + A_{1''}.F_{1''-6'''} \quad \text{----- (5.15)}$$

$$A_{(1'+1'')}F_{(1'+1'')-(6'+6'')} = A_{1'}F_{1'-6'} + A_{1'}F_{1'-6''} + A_{1''}F_{1''-6'} + A_{1''}F_{1''-6''} \quad \text{----- (5.16)}$$

$$\text{Pero: } A_{1''}F_{1''-6'} = A_{1'}F_{1'-6''} \quad \text{----- (5.17)}$$

Remplazando la ecuación 5.17 en la ecuación 5.16:

$$F_{1''-6'} = \frac{A_{(1'+1'')}F_{(1'+1'')-(6'+6'')} - A_{1'}F_{1'-6'} - A_{1''}F_{1''-6''}}{2A_{1''}} \quad \text{----- (5.18)}$$

Hallando los factores de vista:

Del gráfico de radiación (apéndice: CHAPTER RADIATION, Figura 10.12):

$$F_{(1'+1'')-(6'+6'')} \begin{cases} \frac{H}{x} = \frac{186}{114} = 1,63 \\ \frac{y}{x} = \frac{68}{114} = 0,596 \end{cases} \Rightarrow F_{(1'+1'')-(6'+6'')} = 0,28$$

$$F_{1'-6'} \begin{cases} \frac{H}{x} = \frac{186}{57} = 3,26 \\ \frac{y}{x} = \frac{68}{57} = 1,19 \end{cases} \Rightarrow \begin{matrix} F_{1'-6'} = 0,25 \\ F_{1''-6''} = 0,25 \end{matrix} ; \text{ también :}$$

Remplazando en la ecuación (5.18) se tiene:

$$F_{1''-6'} = \frac{114 \times 68 \times 0,28 - 57 \times 68 \times 0,25 - 57 \times 68 \times 0,25}{2 \times 57 \times 68} = 0,03$$

$$F_{1''-6'} = 0,03$$

También se puede observar que:

$$A_{1''} F_{1''-6''} = A_{1''} F_{1''-6'} \Rightarrow F_{1''-6''} = F_{1''-6'} = 0,03$$

Remplazando en la ecuación 5.15:

$$F_{1''-6} = \frac{57 \times 68 \times 0,03 + 57 \times 68 \times 0,25 + 57 \times 68 \times 0,03}{57 \times 68} = 0,31$$

$$F_{1''-6} = 0,31$$

Luego, hemos hallado el factor de vista F_{16} ; entonces:

$$F_{16} = F_{1''-6} = 0,31$$

- Con la pared "5"

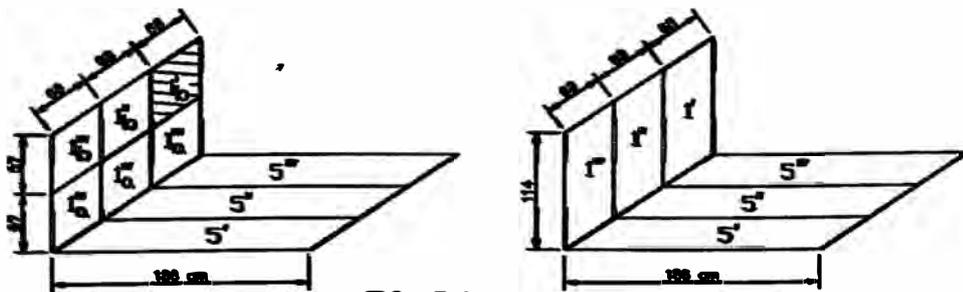


FIG. 5.6

$$A_1' F_{1'-5} = A_1' F_{1'-5'} + A_1' F_{1'-5''} + A_1' F_{1'-5'''} \quad \text{-----} \quad (5.19)$$

$$A_{(1'+1'')} F_{(1'+1'')-(5'+5'')} = A_1' F_{1'-5'} + A_1' F_{1'-5''} + A_1'' F_{1''-5'} + A_1'' F_{1''-5''} \quad \text{-----}$$

(5.20)

Pero: $A_1'' F_{1''-5'} = A_1' F_{1'-5''} \quad \text{-----} \quad (5.21)$

Remplazando la ecuación 5.21 en la ecuación 5.20 se tiene:

$$F_{1''-5'} = \frac{A_{(1'+1'')} F_{(1'+1'')-(5'+5'')} - A_1' F_{1'-5'} - A_1'' F_{1''-5''}}{2A_1''} \quad \text{-----} \quad (5.22)$$

$$A_{(1'+1''+1''')} F_{(1'+1''+1''')-(5'+5''+5''')} = A_1' F_{1'-5'} + A_1' F_{1'-5''} + A_1' F_{1'-5'''} + A_1'' F_{1''-5'} + A_1'' F_{1''-5''} \\ + A_1''' F_{1'''-5''} + A_1''' F_{1'''-5'''} + A_1''' F_{1'''-5''''} + A_1''' F_{1'''-5'''''} \quad \text{-----} \quad (5.23)$$

También se cumple: $A_1''' F_{1'''-5''} = A_1' F_{1'-5''} \quad \text{-----} \quad (5.24)$

Hallando los factores de vista del gráfico de radiación (apéndice:

CHAPTER RADIATION, Figura 10.12):

$$F_{(1'+1'')-(5'+5'')} \left\{ \begin{array}{l} \frac{H}{x} = \frac{186}{136} = 1,37 \\ \frac{y}{x} = \frac{114}{136} = 0,84 \end{array} \right. \Rightarrow F_{(1'+1'')-(5'+5'')} = 0,26$$

$$F_{1'-5'} \left\{ \begin{array}{l} \frac{H}{x} = \frac{186}{68} = 2,74 \\ \frac{y}{x} = \frac{114}{68} = 1,68 \end{array} \right. \Rightarrow F_{1'-5'} = 0,19 \quad ; \quad \text{también :} \\ F_{1'-5''} = 0,19$$

Remplazando en la ecuación (5.22) se tiene:

$$F_{1''-5'} = \frac{136x114x0,26 - 68x114x0,19 - 68x114x0,19}{2x68x114} = 0,07$$

$$F_{1''-5'} = 0,07$$

Reduciendo la ecuación (5.23), donde:

$$A_1' = A_1'' = A_1''' ; F_{1'-5''} = F_{1''-5'} ; F_{1'-5'''} = F_{1''-5''} = F_{1'''-5''} = F_{1'''-5'''} = F_{1'''-5''''} = F_{1'''-5'''''} = F_{1'''-5''''''}$$

$$A_{(1'+1''+1''')}F_{(1'+1''+1''')-(5'+5''+5''')} = A_1F_{1'-5'} + 4A_1F_{1''-5''} + 2A_1F_{1'''-5'''} + A_1F_{1''-5''} + A_1F_{1'''-5'''}$$

$$F_{1'-5'''} = \frac{A_{(1'+1''+1''')}F_{(1'+1''+1''')-(5'+5''+5''')} - A_1F_{1'-5'} - A_1F_{1''-5''} - A_1F_{1'''-5'''} - 4A_1F_{1''-5''}}{2A_1}$$

----- (5.25)

Los factores de vista según el gráfico son:

$$F_{(1'+1''+1''')-(5'+5''+5''')} \begin{cases} \frac{H}{x} = \frac{186}{204} = 0,91 \\ \frac{y}{x} = \frac{114}{204} = 0,56 \end{cases} \Rightarrow F_{(1'+1''+1''')-(5'+5''+5''')} = 0,29$$

$F_{1'-5'} = F_{1''-5''} = F_{1'''-5'''} = 0,19$ además:

$$F_{1'-5''} = F_{1''-5'} = 0,07$$

Remplazando en la ecuación (5.25).

$$F_{1'-5'''} = \frac{204 \times 114 \times 0,29 - (68 \times 114 \times 0,19) \times 3 - 4 \times 68 \times 114 \times 0,07}{2 \times 68 \times 114} = 0,01$$

$$F_{1''-5'''} = 0,01$$

Y de la ecuación (5.19):

$$F_{1'-5} = \frac{68 \times 114 \times 0,19 + 68 \times 114 \times 0,07 + 68 \times 114 \times 0,01}{68 \times 114}$$

$$F_{1'-5} = 0,27$$

En forma análoga, siguiendo el mismo procedimiento se

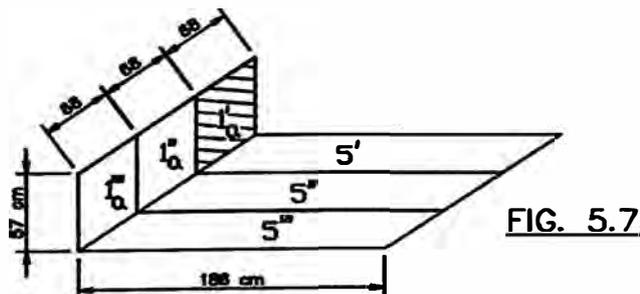


FIG. 5.7

obtiene $F_{1'a-5}$:

cuyo resultado es el siguiente:

$$F_{1'a-5} = 0,34$$

Por lo tanto:

$$A_{1'} F_{1'-5} = A_{1'a} F_{1'a-5} + A_{1'b} F_{1'b-5} \text{ ----- (5.26)}$$

$$\Rightarrow F_{1'b-5} = \frac{A_{1'} F_{1'-5} - A_{1'a} F_{1'a-5}}{A_{1'b}} = \frac{68 \times 114 \times 0,27 - 68 \times 57 \times 0,34}{68 \times 57}$$

$$\Rightarrow F_{1'b-5} = 0,20 \quad \Rightarrow \quad F_{15} = F_{1'b-5} = 0,20$$

como la posición de la pared 1, a las paredes 5 y 2, son iguales se concluye que:

$$F_{15} = F_{12} = 0,20$$

- Con la pared "4"

Debe determinarse el valor $F_{1''c-4}=F_{14}$. Primeramente hallaremos el factor de vista de área:

$$\{A_{(1''a + 1''b)} F_{(1''a + 1''b) - 4}\}$$

Se puede apreciar claramente que este caso es el mismo que el caso "a" con la pared "6". Con la única variación de la altura que sería ahora 136cm.

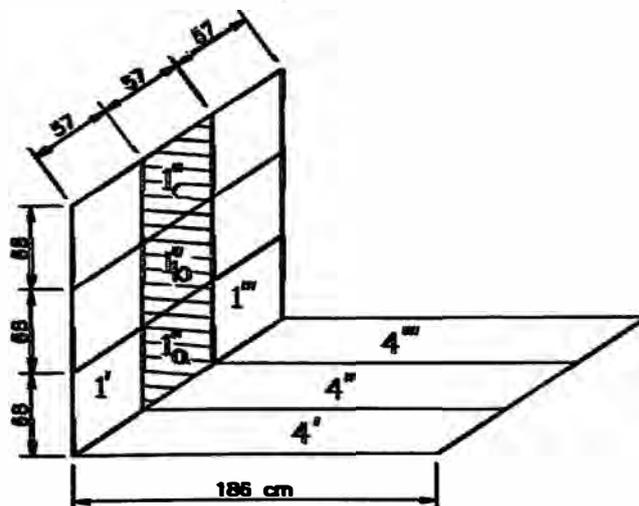


FIG. 5.8

Efectuando los cálculos requeridos, se obtiene el siguiente resultado:

$$F_{(1^{\prime\prime}a + 1^{\prime\prime}b) - 4} = 0,28$$

Paso seguido, procedemos con la obtención del factor de vista de área: $\{A_{(1^{\prime\prime}a+1^{\prime\prime}b+1^{\prime\prime}c)}F_{(1^{\prime\prime}a + 1^{\prime\prime}b+1^{\prime\prime}c) - 4}\}$. Como problema es idéntico al del caso anterior, donde la única variación es que la altura actual es 204cm. Realizando los cálculos requeridos se obtiene:

$$F_{(1^{\prime\prime}a + 1^{\prime\prime}b+1^{\prime\prime}c) - 4} = 0,204$$

Procedemos a hallar $F_{1^{\prime\prime}c-4}$; se sabe que:

$$A_{(1^{\prime\prime}a+1^{\prime\prime}b+1^{\prime\prime}c)}F_{(1^{\prime\prime}a+1^{\prime\prime}b+1^{\prime\prime}c)-4} = A_{1^{\prime\prime}a}F_{1^{\prime\prime}a-4} + A_{1^{\prime\prime}b}F_{1^{\prime\prime}b-4} + A_{1^{\prime\prime}c}F_{1^{\prime\prime}c-4} \quad \text{-----}$$

(5.27)

$$A_{(1^{\prime\prime}a+1^{\prime\prime}b)}F_{(1^{\prime\prime}a+1^{\prime\prime}b)-4} = A_{1^{\prime\prime}a}F_{1^{\prime\prime}a-4} + A_{1^{\prime\prime}b}F_{1^{\prime\prime}b-4} \quad \text{-----} \quad (5.28)$$

Se sabe del caso (a): $F_{1^{\prime\prime}a-4} = 0,31$

De la ecuación (5,28) obtendremos $F_{1^{\prime\prime}b-4}$:

$$F_{1^{\prime\prime}b-4} = \frac{A_{(1^{\prime\prime}a+1^{\prime\prime}b)}F_{(1^{\prime\prime}a+1^{\prime\prime}b)-4} - A_{1^{\prime\prime}a}F_{1^{\prime\prime}a-4}}{A_{1^{\prime\prime}b}}$$

$$F_{1^{\prime\prime}b-4} = \frac{136x57x0,28 - 68x57x0,31}{68x57} = 0,25$$

$$F_{1^{\prime\prime}b-4} = 0,25$$

De la ecuación (5.27) obtendremos: $F_{1^{\prime\prime}c-4}$:

$$F_{1^{\prime\prime}c-4} = \frac{A_{(1^{\prime\prime}a+1^{\prime\prime}b+1^{\prime\prime}c)}F_{(1^{\prime\prime}a+1^{\prime\prime}b+1^{\prime\prime}c)-4} - A_{1^{\prime\prime}a}F_{1^{\prime\prime}a-4} - A_{1^{\prime\prime}b}F_{1^{\prime\prime}b-4}}{A_{1^{\prime\prime}c}}$$

$$F_{1^{\prime\prime}c-4} = \frac{204x57x0,204 - 68x57x0,31 - 68x57x0,25}{68x57} = 0,052$$

$$F_{1^{\prime\prime}c-4} = 0,052$$

Por lo tanto, $F_{1^{\prime\prime}c-4} = F_{14} = 0,052$

En un encierro se cumple:

$$F_{12} + F_{13} + F_{14} + F_{15} + F_{16} = 1 \text{ ----- (5.29)}$$

Nos falta hallar el factor de vista F_{13} ; por lo que se hallará de la ecuación (5.29). Los demás ya están calculados en los procedimientos anteriores.

$$F_{13} = 1 - (F_{12} + F_{14} + F_{15} + F_{16}) = 1 - (0,20+0,052+0,20+0,31) = 0,238$$

$$F_{13} = 0,238$$

Ahora se tendrá que calcular los flujos de calor a cada una de las paredes de las ecuaciones: (5.9), (5.10), (5.11), (5.12) y (5.13), pero antes de la figura 5.4, hallaremos las áreas de las paredes:

$$A_1 = 57 \times 68 = 3876 \text{ cm}^2 = 0,3876 \text{ m}^2$$

$$A_2 = 2,04 \times 1,86 = 3,7949 \text{ m}^2; \text{ así mismo } A_2 = A_5$$

$$A_3 = 2,04 \times 1,71 = 3,4884 \text{ m}^2$$

$$A_4 = 1,71 \times 1,86 = 3,1806 \text{ m}^2; \text{ así mismo } A_4 = A_6.$$

$$\text{También: } \varepsilon_1 = 0,95; \varepsilon_2 = \varepsilon_3 = \varepsilon_4 = \varepsilon_5 = \varepsilon_6 = 0,85.$$

$$T_1 = 838,64^\circ\text{K}; T_2 = T_3 = T_4 = T_5 = T_6 = 396^\circ\text{K}$$

Flujo de calor q_{1-2} :

$$q_{1-2} = \frac{Eb_1 - Eb_2}{\frac{1 - \varepsilon_1}{A_1 \cdot \varepsilon_1} + \frac{1}{A_1 \cdot F_{12}} + \frac{1 - \varepsilon_2}{A_2 \cdot \varepsilon_2}}$$
$$q_{1-2} = \frac{5,67 \times 10^{-8} \times (838,64^4 - 393^4)}{\frac{1 - 0,95}{0,3876 \times 0,95} + \frac{1}{0,3876 \times 0,20} + \frac{1 - 0,85}{3,7944 \times 0,85}} = 2040,51 \text{ W}$$

$$q_{1-2} = 2040,51 \text{ W}$$

Flujo de calor q_{1-3} :

$$q_{1-3} = \frac{Eb_1 - Eb_3}{\frac{1 - \varepsilon_1}{A_1 \cdot \varepsilon_1} + \frac{1}{A_1 \cdot F_{13}} + \frac{1 - \varepsilon_3}{A_3 \cdot \varepsilon_3}}$$
$$q_{1-3} = \frac{5,67 \times 10^{-8} \times (838,64^4 - 393^4)}{\frac{1 - 0,95}{0,3876 \times 0,95} + \frac{1}{0,3876 \times 0,238} + \frac{1 - 0,85}{3,4884 \times 0,85}} = 2420,9W$$

$$q_{1-3} = 2420,9W$$

Flujo de calor q_{1-4} :

$$q_{1-4} = \frac{Eb_1 - Eb_4}{\frac{1 - \varepsilon_1}{A_1 \cdot \varepsilon_1} + \frac{1}{A_1 \cdot F_{14}} + \frac{1 - \varepsilon_4}{A_4 \cdot \varepsilon_4}}$$
$$q_{1-4} = \frac{5,67 \times 10^{-8} \times (838,64^4 - 393^4)}{\frac{1 - 0,95}{0,3876 \times 0,95} + \frac{1}{0,3876 \times 0,052} + \frac{1 - 0,85}{3,1806 \times 0,85}} = 535,96W$$

$$q_{1-4} = 535,96W$$

Flujo de calor q_{1-5} :

Por simetría: $q_{1-5} = q_{1-2} = 2040,51W$

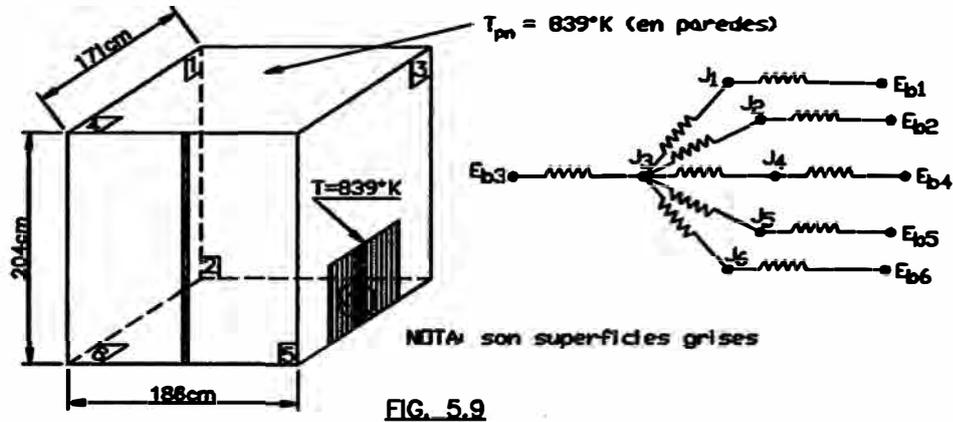
Flujo de calor q_{1-6} :

$$q_{1-6} = \frac{Eb_1 - Eb_6}{\frac{1 - \varepsilon_1}{A_1 \cdot \varepsilon_1} + \frac{1}{A_1 \cdot F_{16}} + \frac{1 - \varepsilon_6}{A_6 \cdot \varepsilon_6}}$$
$$q_{1-6} = \frac{5,67 \times 10^{-8} \times (838,64^4 - 393^4)}{\frac{1 - 0,95}{0,3876 \times 0,95} + \frac{1}{0,3876 \times 0,31} + \frac{1 - 0,85}{3,1806 \times 0,85}} = 3135,43W$$

$$q_{1-6} = 3135,43W$$

B) Calor Transferido del calentador "3" a las demás paredes.

El esquema sería el siguiente:



El calentador "3" tiene la misma ubicación que el calentador "1" por lo que los cálculos para obtener los flujos de calor serán idénticos al anterior cálculo, obtenido para el calentador "1"; luego:

$$q_{3-2} = q_{1-2} = 2040,51\text{W}$$

$$q_{3-1} = q_{1-3} = 2420,9\text{W}$$

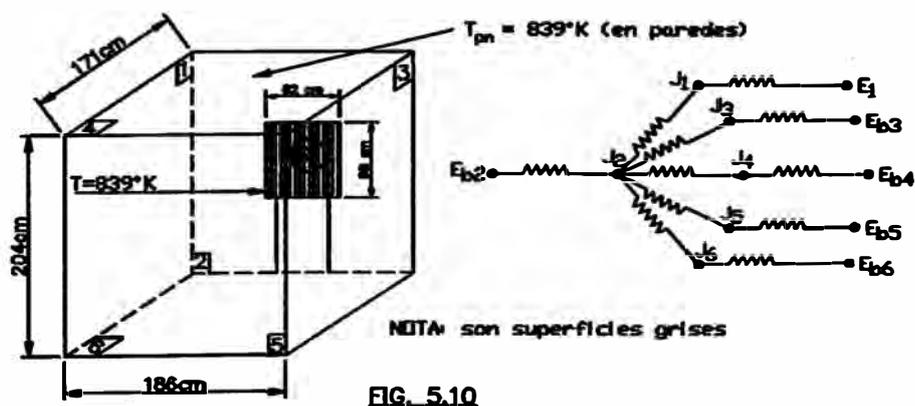
$$q_{3-4} = q_{1-4} = 535,96\text{W}$$

$$q_{3-5} = q_{1-5} = 2040,51\text{W}$$

$$q_{3-6} = q_{1-6} = 3135,43\text{W}$$

C) Calor Transferido del calentador "2" a las demás paredes.

El esquema sería el siguiente:



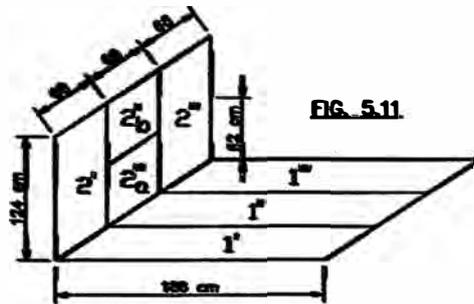


FIG. 5.11

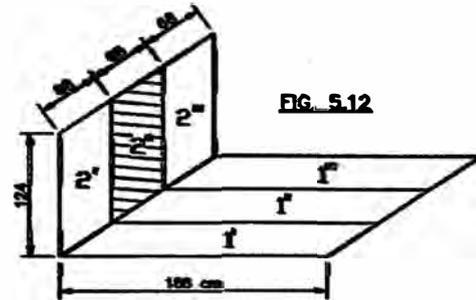


FIG. 5.12

- Con la cara "1"

Calcularemos el factor de vista $F_{2''-1}$ de la figura 5.12:

$$A_{2''} \cdot F_{2''-1} = A_{2''} \cdot F_{2''-1'} + A_{2''} \cdot F_{2''-1''} + A_{2''} \cdot F_{2''-1'''} \quad \text{-----} \quad (5.30)$$

$$A_{(2'+2'')} F_{(2'+2'')-(1'+1'')} = A_{2'} F_{2'-1'} + A_{2'} F_{2'-1''} + A_{2''} F_{2''-1'} + A_{2''} F_{2''-1''} \quad \text{-----} \quad (5.31)$$

Pero también: $A_{2''} F_{2''-1'} = A_{2'} F_{2'-1''} \quad \text{-----} \quad (5.32)$

Reemplazando la ecuación 5.32 en la ecuación 5.31 se tiene:

$$F_{2''-1'} = \frac{A_{(2'+2'')} F_{(2'+2'')-(1'+1'')} - A_{2'} F_{2'-1'} - A_{2''} F_{2''-1''}}{2A_{2''}} \quad \text{-----} \quad (5.33)$$

Hallando los factores de vista del gráfico de radiación (apéndice: CHAPTER RADIATION, Figura 10.12):

$$F_{(2'+2'')-(1'+1'')} \begin{cases} \frac{H}{x} = \frac{171}{136} = 1,26 \\ \frac{y}{x} = \frac{124}{136} = 0,91 \end{cases} \Rightarrow F_{(2'+2'')-(1'+1'')} = 0,23$$

$$F_{2'-1'} \begin{cases} \frac{H}{x} = \frac{171}{68} = 2,51 \\ \frac{y}{x} = \frac{124}{68} = 1,82 \end{cases} \Rightarrow F_{2'-1'} = 0,17 \quad ; \quad \text{también :} \\ F_{2''-1''} = 0,17$$

Reemplazando en la ecuación (5.33) se tiene:

$$F_{2^{n-1}} = \frac{124 \times 136 \times 0,23 - 68 \times 124 \times 0,17 - 68 \times 124 \times 0,17}{2 \times 68 \times 124} = 0,06$$

$$F_{1^{n-5}} = 0,06$$

También se cumple:

$$A_{2^a} F_{2^{n-1}^a} = A_{2^b} F_{2^{n-1}^b} \Rightarrow F_{2^{n-1}^a} = F_{2^{n-1}^b} = 0,06$$

Reemplazando en la ecuación (5.30) se tiene:

$$F_{2^{n-1}} = \frac{68 \times 124 \times 0,06 + 68 \times 124 \times 0,17 + 68 \times 124 \times 0,06}{68 \times 124} = 0,29$$

$$F_{2^{n-1}} = 0,29$$

De forma análoga al cálculo de $F_{2^{n-1}}$; se realiza el procedimiento para la obtención de $F_{2^{n-a-1}}$:

$$\Rightarrow F_{2^{n-a-1}} = 0,36$$

De la figuras 5.11 y 5.12 se observa que:

$$A_{2^a} F_{2^{n-1}} = A_{2^a} F_{2^{n-a-1}} + A_{2^b} F_{2^{n-b-1}}$$

$$\Rightarrow F_{2^{n-b-1}} = \frac{A_{2^a} F_{2^{n-1}} - A_{2^a} F_{2^{n-a-1}}}{A_{2^b}}$$

$$\Rightarrow F_{2^{n-b-1}} = \frac{68 \times 124 \times 0,29 - 62 \times 68 \times 0,36}{62 \times 68} = 0,22$$

$$\Rightarrow F_{12} = F_{2^{n-b-1}} = 0,22$$

Con la pared "3"

Este caso es similar que con la cara "1"; donde el resultado del factor de vista será igual:

$$\text{Luego: } F_{23} = F_{21} = 0,22$$

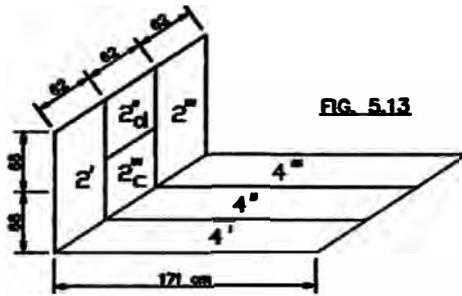


FIG. 5.13

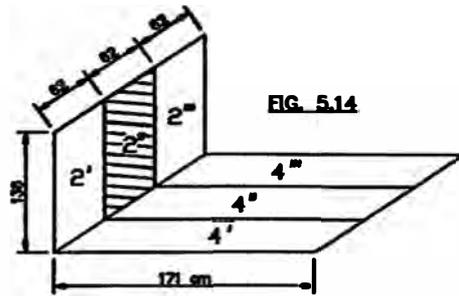


FIG. 5.14

- Con la pared "4"

Se desea hallar F_{2^nd-4} :

Primero calcularemos el factor de vista F_{2^nd-4} ; donde observando bien, resulta el mismo caso anterior, con diferentes dimensiones; por lo que siguiendo el mismo procedimiento, se obtiene:

$$F_{2^nd-4} = 0,28$$

También con el mismo procedimiento se puede obtener el factor de vista F_{2^nc-4} ; operando:

$$F_{2^nc-4} = 0,31$$

Finalmente hallando F_{2^nd-4} ; de la figura 5.13 se obtiene:

$$A_{2^nd}F_{2^nd-4} = A_{2^nc}F_{2^nc-4} + A_{2^nd}F_{2^nd-4}$$

$$F_{2^nd-4} = \frac{A_{2^nc}F_{2^nc-4} - A_{2^nc}F_{2^nc-4}}{A_{2^nd}}$$

$$F_{2^nd-4} = \frac{62 \times 136 \times 0,28 - 62 \times 68 \times 0,31}{62 \times 68} = 0,25$$

$$F_{2^nd-4} = 0,25$$

Por lo tanto: $F_{24} = F_{2^nd-4} = 0,25$

- Con la pared "6"

Observando, resulta el mismo caso que la pared "4"; por lo que, se concluye lo siguiente: $F_{24} = F_{26} = 0,25$

También en un encierro se cumple lo siguiente:

$$F_{21} + F_{23} + F_{24} + F_{25} + F_{26} = 1 \text{ ----- (5.34)}$$

De la anterior ecuación determinamos F_{25} :

$$F_{25} = 1 - (F_{21} + F_{23} + F_{24} + F_{26}) = 1 - (0,22 + 0,22 + 0,25 + 0,25) = 0,06$$

$$F_{25} = 0,06$$

Calculando los flujos de calor, donde:

$$A_1 = 3,488 \text{ m}^2; A_2 = 0,4216 \text{ m}^2; \varepsilon_2 = 0,95; \varepsilon_1 = \varepsilon_3 = \varepsilon_4 = \varepsilon_5 = \varepsilon_6 = 0,85$$

$$q_{2-1} = \frac{Eb_2 - Eb_1}{\frac{1 - \varepsilon_2}{A_2 \cdot \varepsilon_2} + \frac{1}{A_2 \cdot F_{21}} + \frac{1 - \varepsilon_1}{A_1 \cdot \varepsilon_1}} \text{ ----- (5.35)}$$

$$q_{2-1} = \frac{5,67 \times 10^{-8} \times (838.64^4 - 393^4)}{\frac{1 - 0,95}{0,4216 \times 0,95} + \frac{1}{0,4216 \times 0,22} + \frac{1 - 0,85}{3,488 \times 0,85}} = 2436,31W$$

$$q_{2-1} = 2436,31W$$

También: $q_{2-3} = q_{2-1} = 2436,31W$

$$q_{2-4} = \frac{Eb_2 - Eb_4}{\frac{1 - \varepsilon_2}{A_2 \cdot \varepsilon_2} + \frac{1}{A_2 \cdot F_{24}} + \frac{1 - \varepsilon_4}{A_4 \cdot \varepsilon_4}} \text{ ----- (5.36)}$$

$$q_{2-4} = \frac{5,67 \times 10^{-8} \times (838.64^4 - 393^4)}{\frac{1 - 0,95}{0,4216 \times 0,95} + \frac{1}{0,4216 \times 0,25} + \frac{1 - 0,85}{3,1806 \times 0,85}} = 2760,34W$$

$$q_{2-4} = 2760,34W$$

También se cumple: $q_{2-6} = q_{2-4} = 2760,34W$

$$q_{2-5} = \frac{Eb_2 - Eb_5}{\frac{1 - \varepsilon_2}{A_2 \cdot \varepsilon_2} + \frac{1}{A_2 \cdot F_{25}} + \frac{1 - \varepsilon_5}{A_5 \cdot \varepsilon_5}}$$

$$q_{2-5} = \frac{5,67 \times 10^{-8} \times (838.64^4 - 393^4)}{\frac{1 - 0,95}{0,4216 \times 0,95} + \frac{1}{0,4216 \times 0,06} + \frac{1 - 0,85}{3,7944 \times 0,85}} = 672,4W$$

$$q_{2-5} = 672,4W$$

El flujo de calor por los tres calentadores a cada una de las paredes, expresadas en watt [W] es:

		paredes					
		1	2	3	4	5	6
Calent.	1	----	2040,51	2420,29	535,96	2040,51	3135,43
	2	2436,31	----	2436,31	2760,34	672,4	2760,34
	3	2420,9	2040,51	----	535,96	2040,51	3135,43

Ahora conociendo los flujos de calor en cada pared, calcularemos el flujo de calor neto en cada pared del horno.

$$q_1 = q_{2-1} + q_{3-1} = 2436,31 + 2420,9 = 4857,21W$$

$$q_1 = 4857,21W$$

$$q_2 = q_{1-2} + q_{3-2} = 2040,51 + 2040,51 = 4081,02W$$

$$q_2 = 4081,02W$$

$$q_3 = q_{1-3} + q_{2-3} = 2420,9 + 2436,31 = 4857,21W$$

$$q_3 = 4857,21W$$

$$q_4 = q_{1-4} + q_{2-4} + q_{3-4} = 535,96 + 2760,34 + 535,96 = 3832,25W$$

$$q_4 = 3832,25W$$

$$q_5 = q_{1-5} + q_{2-5} + q_{3-5} = 2040,5 + 672,4 + 2040,5 = 4753,42W$$

$$q_5 = 4753,42W$$

$$q_6 = q_{1-6} + q_{2-6} + q_{3-6} = 3135,43 + 2760,34 + 3135,43 = 9031,2W$$

$$q_6 = 9031,2W$$

Observando los resultados, el mayor flujo de calor se da en el piso del horno que viene a ser q_6 ; cabe indicar que el piso del horno tendrá las características dadas en el subcapítulo cuatro 4.2; por lo que dicho flujo de calor no se tomará en consideración para el diseño.

Lo que nos interesa son las paredes laterales y el techo del horno;

entonces para el diseño se tomará el mayor flujo de calor $q_1 = q_3 = 4857,21W$.

5.3.2 Cálculo de la temperatura en el interior del horno.

Para obtener el tiempo de calentamiento en el interior del horno, se considerará los valores máximos; tanto de temperatura ($T = 120^\circ C$, temperatura máxima de calentamiento) como la masa del transformador de mayor volumen.

El volumen interno del horno es:

$$V = L \times a \times h = 1.86 \times 1,75 \times 2,04 = 6.4884 \text{ m}^3$$

$$V = 6.4884 \text{ m}^3$$

Masa de aire presente en el horno:

$$Pv = mRT \text{ ----- (5.38)}$$

Donde las condiciones ambientales son: $T = 20^\circ C$ y $p = 1\text{bar} = 100 \text{ KPa}$. Y el aire tiene las siguientes propiedades de calor específico a presión y volumen constantes que son:

$$C_p = 1,0035 \frac{KJ}{Kg \text{ } ^\circ K} \quad ; \quad C_v = 0,7165 \frac{KJ}{Kg \text{ } ^\circ K}$$

$$R = C_p - C_v = 0,287 \frac{KJ}{Kg \text{ } ^\circ K} \quad ; \quad R = 0,287 \frac{KJ}{Kg \text{ } ^\circ K}$$

De la ecuación (5.38) despejamos "m" y reemplazando datos de las condiciones ambientales indicadas:

$$m = \frac{pv}{RT} = \frac{100 \times 6,4884}{0,287 \times 293} = 7,72 \text{ Kg}$$

$$m_{\text{aire}} = 7,72 \text{ Kg}$$

Se requiere calentar en el horno, por intermedio de los calentadores desde $20^\circ C$ hasta $120^\circ C$ que es la temperatura máxima de diseño que se podrá obtener dentro del horno:

$$\Rightarrow \Delta T = T_2 - T_1 = 120 - 20 = 100^\circ\text{C} = 100^\circ\text{K}$$

$$\Rightarrow \Delta T = 100^\circ\text{K}$$

El calentamiento en el horno será un proceso a volumen constante; por lo que el calor requerido será:

$$Q_1 = m_{\text{aire}} C_v \Delta T \quad \text{-----} \quad (5.39)$$

Donde:

Q: Calor desprendido [Joule]

Cv: Calor específico a volumen constante

El efecto Joule nos indica que toda corriente eléctrica que atraviesa una resistencia eléctrica origina en ella un desprendimiento de calor que es directamente proporcional a la resistencia, al cuadrado de la intensidad de corriente y al tiempo durante el cual se aplica la corriente eléctrica.

$$Q = 0,24 I^2 R t \quad \text{-----} \quad (5.40)$$

Donde:

Q: Calor desprendido [cal]

I: Intensidad de corriente [Amper]

R: Resistencia en [Ω]

t: El tiempo en segundos [s]

Y teniendo en cuenta que 1 cal = 4,186 Joule, en la ecuación (5.40) se tiene:

$$Q_v = I^2 R t \quad \text{-----} \quad (5.41)$$

Donde Q se expresa en Joule.

El horno estará forrado internamente con plancha de acero inoxidable de 1/20" de espesor; cuya densidad es $\rho=9,6 \text{ Kg/m}^2$.

AREA DE LAS PLANCHAS (A):

$$A = A_{\text{techo}} + A_{\text{laterales}} + A_{\text{base}}$$

$$A = 2 \times 1,86 \times 1,71 + 2 \times 1,86 \times 2,04 + 2 \times 1,71 \times 2,04$$

$$A = 20,91 \text{ m}^2$$

$$m_{\text{acero}} = \rho A = 9,6 \text{ Kg/m}^2 \times 21,542 \text{ m}^2 = 201 \text{ Kg}$$

$$m_{\text{acero}} = \rho A = 201 \text{ Kg}$$

El calor que necesitan las planchas o paredes internas del horno para incrementar su temperatura de 20°C a 120°C es:

$$Q_2 = m_{P.\text{acero}} C_e \Delta T \quad \text{-----} \quad (5.42)$$

donde el calor específico del acero es $C_e = 0,110 \text{ cal / g } ^\circ\text{C} = 0,460 \text{ KJ / Kg } ^\circ\text{C}$

También, el transformador que en su mayor parte es de acero, cobre y materiales aislantes; se asume como material del transformador al acero por ser preponderante. Se tomará un peso referencial de una tonelada el peso del transformador ($m_{\text{Transf}} = 1000 \text{ Kg}$).

$$Q_3 = m_{\text{Transf}} C_e \Delta T \quad \text{-----} \quad (5.43)$$

Luego igualando el calor en el interior del horno:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = I^2 R t \quad \text{-----} \quad (5.44)$$

$$m_{\text{aire}} C_v \Delta T + m_{P.\text{acero}} C_e \Delta T + m_{\text{Transf}} C_e \Delta T = I^2 R t$$

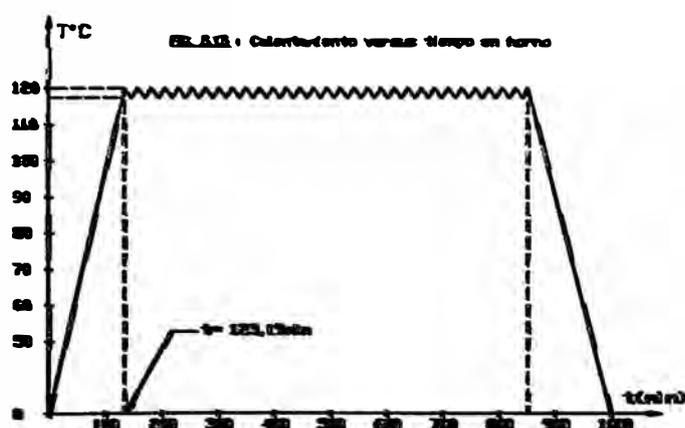
$$1000 \times 460 \times 100 + 201 \times 460 \times 100 + 7.72 \times 716.5 \times 100 = 7500 t$$

$$t = 7439,89 \text{ s} = 123.99 \text{ min}$$

$$t = 2,07 \text{ h}$$

Por lo tanto; el tiempo máximo de calentamiento, para lograr la máxima temperatura de diseño cuando el horno alberga el transformador de mayor capacidad previsto, es de $t = 2,07$ horas. En

consecuencia; si la temperatura de requerimiento es menor y si secamos transformadores de menor capacidad, el tiempo en referencia será obviamente menor. Se debe señalar que el horno al adquirir la máxima temperatura de calentamiento 120°C (o la temperatura requerida), inmediatamente el termostato activa la interrupción de corriente en el tablero eléctrico a través del contactor respectivo y esa forma deja de alimentarse a los calentadores. Luego la temperatura dentro del horno empieza a descender hasta una temperatura tope inferior determinado por el termostato que de inmediato establece el cierre del circuito, y por consiguiente nuevamente los calentadores funcionan. De esta forma, de tiempo en tiempo los calentadores dejarán de funcionar, tratando de mantener constante la temperatura requerida en el proceso de secado del



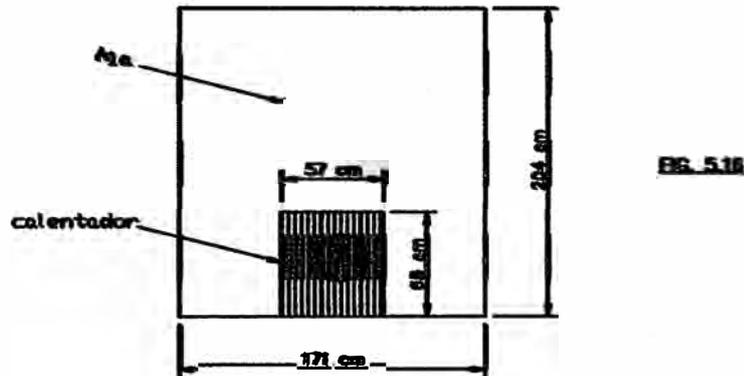
transformador durante el tiempo que dura dicho proceso de secado, que puede ser según la designación de un ingeniero de mantenimiento en promedio 14 horas.

5.3.3 Determinación del espesor del aislante térmico.

El tipo de aislante térmico a utilizar en las paredes del horno será el de

fibra de vidrio de $K = 0,0498 \text{ W / m }^\circ\text{K}$ (ver tablas de apéndice).

El flujo de calor calculado en el acápite 5.3.1 el de mayor valor es el de las caras 1 y 3 donde: $q_1 = q_3 = 4857,21 \text{ W}$; luego, el flujo de calor por unidad de área en estas caras es:



$$q'' = \frac{q_1}{A_{1a}} \quad \text{-----} \quad (5.45)$$

$$A_{1a} = A_1 - A_{1b} \quad \text{-----} \quad (5.46)$$

$$A_{1a} = 1,71 \times 2,04 - 0,57 \times 0,68 = 3,1008 \text{ m}^2$$

$$A_{1a} = 3,1008 \text{ m}^2$$

También se tiene la figura 5.17 de transferencia de

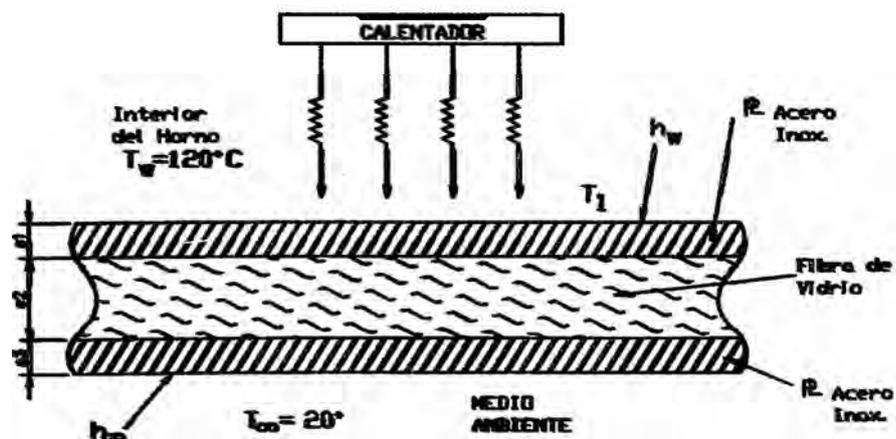


FIG. 5.17

calor:

Y reemplazando en la ecuación (5.45) se tiene:

$$q'' = \frac{4857,21W}{3,1008m^2} = 1566,44 \frac{W}{m^2}$$

$$q'' = 1566,44 \frac{W}{m^2}$$

El coeficiente pelicular del medio ambiente con la parte exterior del horno es de $h_{\infty} = 18 \text{ W / m}^2 \text{ }^{\circ}\text{K}$; lo que falta hallar sería el h_w por lo que:

$$\bar{N}_u = \frac{h_w L_c}{K} \text{ ----- (5.47)}$$

Donde:

\bar{N}_u : Número de Nusselt

K: Conductividad térmica [w / m °K]

h_w : Coeficiente pelicular de convección [w / m² °K]

L_c : Longitud [m]

Según Mc Adams, se tiene:

$$\bar{N}_u = 0,59 R_a^{1/4} \text{ ----- (5.48) ; } 10^4 < R_a < 10^9$$

$$R_a = G_r P_r \text{ ----- (5.49)}$$

Donde:

G_r : Número adimensional de Grasltof.

P_r : Número de Prandtl

R_a : Número de Rayprigt

También se tiene:

$$G_r = \frac{g \beta \Delta T L_c}{\nu^2} \text{ ----- (5.50)}$$

Donde:

g : Aceleración de la gravedad [m/s²]

β : Coeficiente de expansión térmica [1/°K]

ΔT : Variación de temperatura [°K]

L_c : Longitud en [m]

ν : Viscosidad cinemática [m²/s]

se tiene que: $T_{plancha} = 120^\circ\text{C}$ y $T_{horno\ inicio} = 20^\circ\text{C}$; $\Delta T = 100^\circ\text{C} = 100^\circ\text{K}$

$$T_F = \frac{T_{Plancha} + T_{Horno}}{2} = \frac{120 + 20}{2} = 70^\circ\text{C} = 293^\circ\text{K}$$

$$T_{F\ aire} = 293^\circ\text{K} \quad ; \quad L_c = 204\text{cm} = 2,04\text{m}$$

para $T_{F\ aire} = 293^\circ\text{K}$, según tabla del apéndice, tiene las siguientes propiedades:

$$\nu = 15,26 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$K = 25,74 \times 10^{-3} \text{ W / m }^\circ\text{K}$$

$$\text{Pr} = 0,709$$

$$\beta = 3,41 \times 10^{-3} = 1 / T_F = 1 / 293$$

Remplazando las ecuaciones (5.50), (5.49) y (5.48) en (5.47) se tiene:

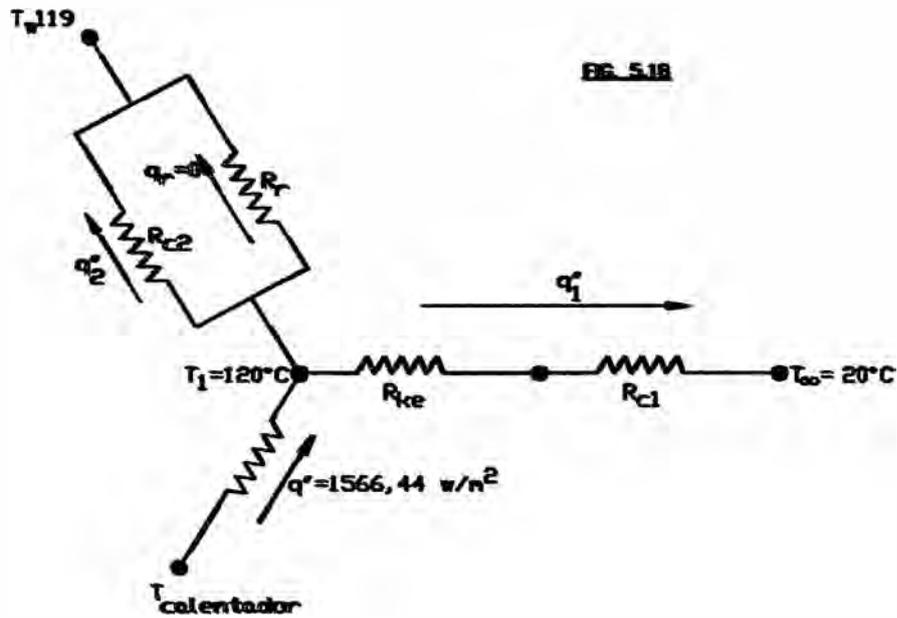
$$h = 0,59 \left(\frac{g \beta \Delta T L_c^3 \text{Pr}}{\nu^2} \right)^{1/4} \left(\frac{K}{L_c} \right) \quad \text{----- (5.51)}$$

Luego, se tiene:

$$h = 0,59 \left(\frac{9,8 \times 3,41 \times 10^{-3} \times 100 \times 2,04^3 \times 0,709}{(15,26 \times 10^{-6})^2} \right)^{1/4} \times \left(\frac{25,74 \times 10^{-3}}{2,04} \right)$$

$$h = 4,036 \approx 5 \text{ W / m}^2 \text{ }^\circ\text{K}$$

En vista de que hay tres calentadores y cuatro paredes verticales, el coeficiente pelicular de convección será: $h_w = 4.h = 4 \times 5 = 20 \text{ W / m}^2 \text{ }^\circ\text{K}$; y de la figura 5.17 se cumple el siguiente esquema:



De acuerdo al diagrama anterior se cumple:

$$q'' = \frac{T_1 - T_\infty}{R_{ke} + \frac{1}{h_{c1}}} + \frac{T_1 - T_w}{\frac{1}{h_{c2}}} \quad \text{----- (5.52)}$$

se sabe que, $h_\infty = hc1 = 18 \text{ W / m}^2 \text{ }^\circ\text{K}$; $h_w = hc2 = 20 \text{ W / m}^2 \text{ }^\circ\text{K}$

Luego; reemplazando en la ecuación (5.52) se tiene:

$$1566,44 = \frac{120 - 20}{R_{ke} + \frac{1}{18}} + \frac{120 - 119}{\frac{1}{20}} \quad \text{----- (5.53)}$$

También se debe diseñar el horno con la siguiente consideración:

$q_1'' \approx 0$; Luego:

$$\frac{120 - 20}{R_{ke} + \frac{1}{18}} \approx 0 \quad \text{----- (5.54)}$$

de la ecuación (5.53) despejamos R_{ke} :

$$R_{ke} = 9,444 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^2 \text{ }^\circ\text{K}}{\text{W}}$$

También en la figura (5.17) se tiene:

$$R_{ke} = \frac{e_1}{K_{acero}} + \frac{e_2}{K_{aislante}} + \frac{e_3}{K_{acero}} \text{ ----- (5.55)}$$

Se sabe que: $K_{acero\ inox} = 16,09 \text{ W / m }^\circ \text{ K}$; $K_{aislante} = 0,0498 \text{ W / m }^\circ \text{ K}$

$$e_1 = e_3 = 1 / 20'' = 1,27 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Remplazando en la ecuación (5.55) se tiene:

$$R_{ke} = \frac{1,27 \times 10^{-3}}{16,09} + \frac{e^2}{0,0498} + \frac{1,27 \times 10^{-3}}{16,09} = 1,5786 \times 10^{-4} + 20,08e^2$$

$$R_{ke} = 1,5786 \times 10^{-9} + 20,08e^2 \text{ ----- (5.56)}$$

Remplazando la ecuación (5.56) en (5.54) se tiene:

$$\frac{120 - 20}{1,5786 \times 10^{-4} 20,08e^2 + 1/18} \approx 0 \text{ ----- (5.57)}$$

Tabulando en la ecuación (5.57) se tiene:

$$\text{Si } e = 1/2'' \Rightarrow q_1'' = 257,46 \text{ W / m}^2.$$

$$\text{Si } e = 1'' \Rightarrow q_1'' = 141,40 \text{ W / m}^2.$$

$$\text{Si } e = 1 1/2'' \Rightarrow q_1'' = 97,47 \text{ W / m}^2.$$

$$\text{Si } e = 2'' \Rightarrow q_1'' = 74,36 \text{ W / m}^2.$$

$$\text{Si } e = 2 1/2'' \Rightarrow q_1'' = 60,11 \text{ W / m}^2.$$

$$\text{Si } e = 3'' \Rightarrow q_1'' = 50,44 \text{ W / m}^2.$$

NOTA: Se observa que el calor q_1'' tiende a ser mínimo a medida que el espesor de la fibra de vidrio, crece; pero es imposible que q_1'' pueda llegar a cero, porque se utilizaría un aislante demasiado grueso resultando esto antieconómico. Por lo que para nuestro caso se elegirá una fibra de vidrio de dos pulgadas de espesor:

$$\text{Si } e = 2'' \Rightarrow q_1'' = 74,36 \text{ W / m}^2.$$

$$\Rightarrow e = 2'' = 50,8 \text{ mm}$$

5.3.4 Estructura o bastidor del horno.

Las partes laterales y el techo del horno, están conformadas por planchas de 1/20" de espesor, que servirán como forro de las paredes. Estas planchas al ir solas o poco reforzadas, al acondicionar los aislantes de fibra de vidrio debidamente comprimidas, sufrirían una deformación o aparición de flechas en todo lo largo y ancho de las planchas o paredes del horno; y adicionalmente en pleno proceso de secado estas deformaciones se incrementarían por influencia del calor. En consecuencia, para evitar estas deformaciones visibles, es necesario implementar un reforzamiento estructural de las paredes del horno, con ángulos verticales y horizontales que irán forradas por las planchas de de 1/20" de espesor.

El reforzamiento será del siguiente modo:

Pared (1):

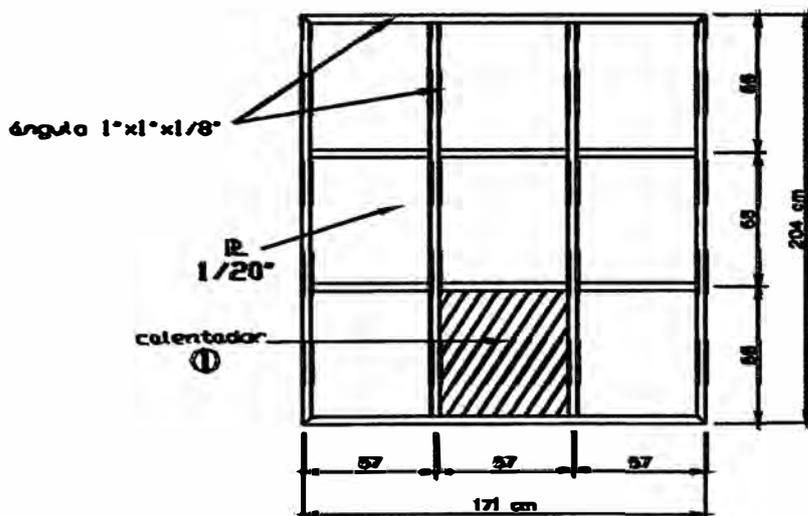


Fig. 5.12

Pared*1* = Pared*3*

Pared (2):

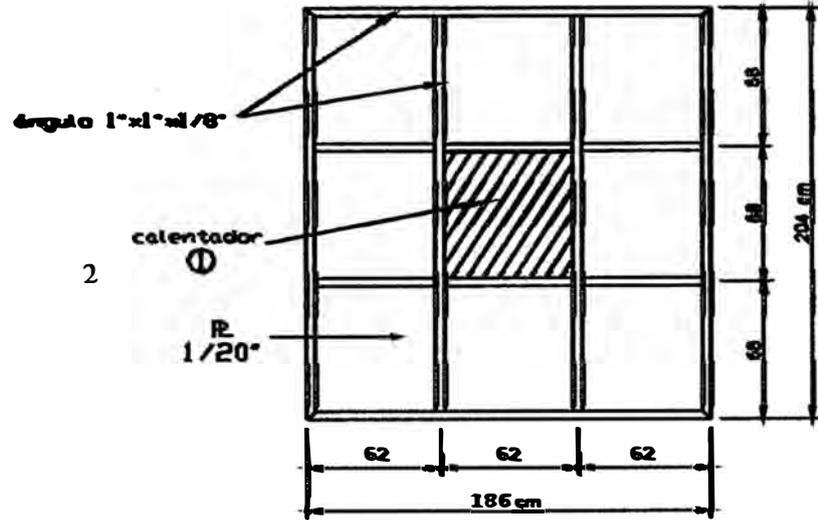
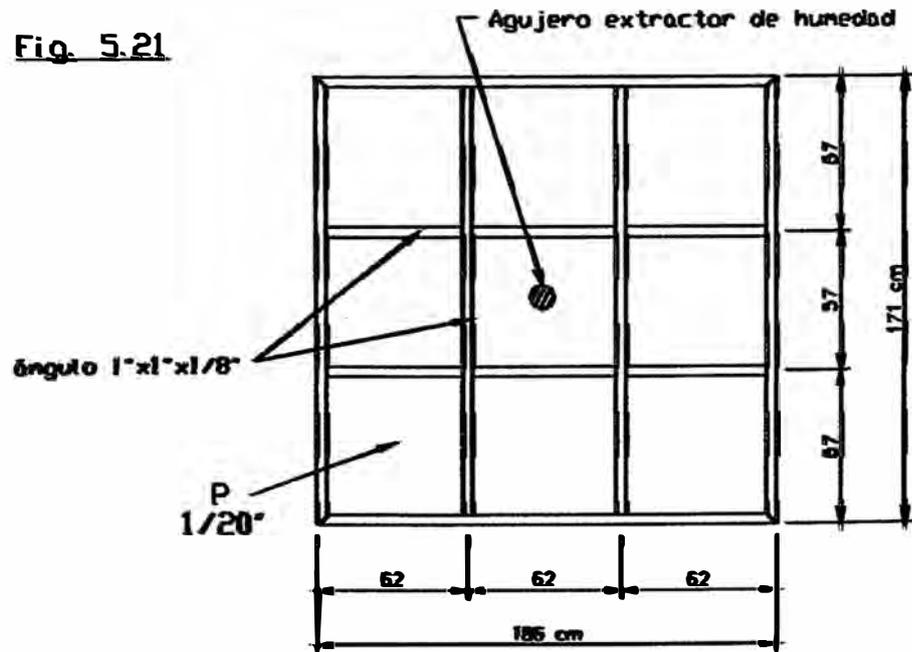


Fig 5.19

Pared (4):

Fig. 5.21



Pared (5): La pared (5) representa a la puerta del horno, puerta con dos hojas y bisagras en los extremos de cada hoja.

Pared (6): La pared (6) representa al piso del horno, el cual estará prácticamente expuesto al piso de concreto, que tendrá una ligera pendiente para chorrear el aceite dieléctrico del transformador hacia un canal, el cual conducirá dicho aceite a un depósito, tal como podrá apreciarse en el acápite siguiente.

5.3.5 Diseño del piso del horno

Por consideraciones mecánicas es conveniente que el piso del horno coincida con el piso de concreto; es decir la cara inferior horizontal del horno no llevará aislante térmico ni las planchas de 1/20" con reforzamiento estructural. Las consideraciones mecánicas, se refieren al soporte del peso del transformador y su correspondiente manipuleo dentro del horno y que obviamente afectarán al piso más que a otra pared del horno.

El piso de concreto tendrá una ligera pendiente de 15 a 20° con la finalidad de conducir el aceite que chorrea del transformador, hacia un canal con pendiente de 3° que llevará el aceite a su vez a un depósito ubicado fuera del área que ocupa el horno. El piso tendrá un forro o alfombra de PCV, material resistente a las temperaturas requeridas en el horno, que evitará la contaminación del suelo por filtración del aceite dieléctrico mínima, dicho forro cubrirá además del piso y el canal al depósito. La utilización o no de la alfombra de PCV no afecta al normal funcionamiento del horno, su inclusión en el diseño del horno obedece a las exigencias normativas por parte de las empresas eléctricas como por ejemplo Luz del Sur.

A modo de soporte del transformador y facilitar el tránsito de los operarios dentro del horno, se acondicionará canales metálicos distanciados como se muestra en la figura siguiente:

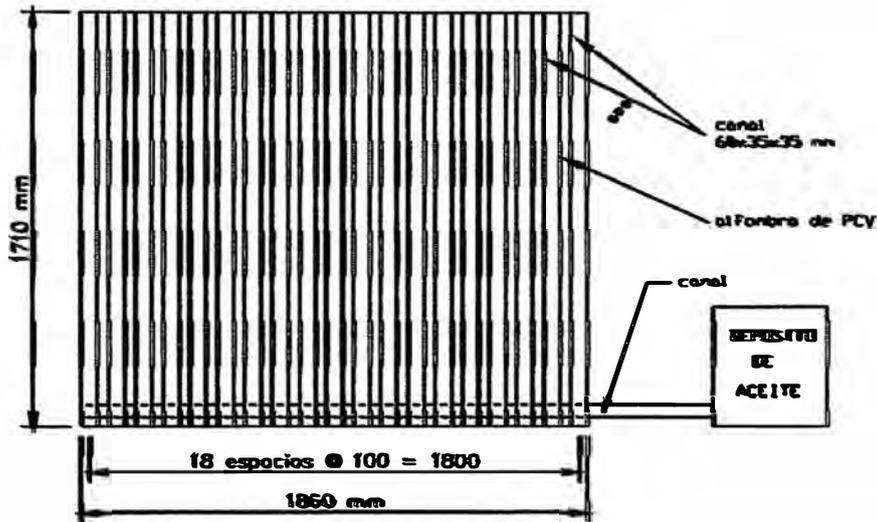


Fig. 5.22

5.3.6 Comprobación de los calentadores al emplearse el ventilador.

Durante el proceso de secado del transformador, la humedad contenida o impregnada en el circuito magnético, circuito eléctrico y principalmente en el sistema de aislamiento del transformador sometido al secado; se evapora.

Entonces, el uso del ventilador dentro del horno es para movilizar o impulsar el vapor para su expulsión fuera del horno.

El funcionamiento del ventilador durante el proceso de secado, es intermitente cada seis o siete horas en promedio; es decir dos veces por cada horneado y por un lapso de 10 minutos.

La ecuación que nos relaciona cuando funcionan el ventilador y los calentadores en el horno, es la ec. (5.58).

Aplicando al sistema anterior la primera ley de la termodinámica, se tiene:

$$Q = \Delta U + W \quad \text{-----} \quad (5.58)$$

$$Q = \Delta U + (-W_{\text{calentadores}} + W_{\text{ventilador}})$$

$$Q = m_{\text{aire}} C_v \Delta T - W_{\text{calentadores}} + W_{\text{ventilador}} \quad \text{-----} \quad (5.59)$$

El calor que sale por las paredes del horno ya se calculó en el acápite 5.3.3, resultando un calor de $q'' = 74,36 \text{ W / m}^2$

Luego calculamos el área total de las paredes por donde se produce las pérdidas de calor en el horno (paredes 1, 2, 3, 4 y 5); de la figura 5.1

$$A_i = 1 \times 1,86 \times 1,71 + 2 \times 1,86 \times 2,04 + 2 \times 1,71 \times 2,04$$

$$A_i = 17,746 \text{ m}^2$$

$$Q_i = A_i q'' = 17,746 \times 74,36 = 1319,61 \text{ w}$$

$$\Rightarrow Q_i = 1319,61 \text{ W} \text{ y } Q_{ii} = 9031,2 \text{ W} = q_6 \text{ calor que sale de la pared "6"}$$

$$\Rightarrow Q = Q_i + Q_{ii} = 1319,61 + 9031,2 = 10350,01 \text{ w}$$

\Rightarrow Reemplazando en la ecuación (5.59) con los datos de tiempo de funcionamiento del ventilador de 10 minutos y $\Delta T = 100^\circ\text{C}$, Tenemos:

$$\Rightarrow -10350,01 = \frac{7,72 \times 0,7165 \times 10^3 \times 100}{10 \times 60} - 3 \times 2500 + W_{\text{ventilador}}$$

$$\Rightarrow W_{\text{ventilador}} = -3772 \text{ w}$$

Luego; el trabajo del ventilador salió negativo por lo que el sistema nos puede todavía permitir ingresar trabajo para el interior, un valor de 3772w; por lo que si se instala un ventilador en el interior del horno, será un trabajo negativo hacia el sistema, el mismo que no alterará el equilibrio térmico. Pero el ventilador a diseñarse deberá ser eficiente y que cumpla la función de impulsar todo el vapor para la expulsión del sistema dado, el ventilador sólo funcionará 10 minutos y el proceso de secado continúa, el diseño del ventilador se da en el acápite siguiente.

NOTA: el funcionamiento del ventilador, al finalizar el proceso de secado se puede prolongar a mas de 10 minutos, hasta votar toda la humedad proveniente del transformador, debido a que ya no es necesario retener calor y los calentadores ya fueron apagados con el pulsador respectivo.

5.4 DISEÑO DEL VENTILADOR AXIAL.

La ubicación del ventilador en el interior del horno, será tal como se muestra en la figura 5.1, esta ubicación es estratégica con el fin de expulsar el vapor presente en el interior del horno.

Las características del ventilador axial por recomendaciones de diseño, serán las siguientes y tomando en cuenta el espacio cedido para la ubicación del ventilador dentro del horno.

- Diámetro externo (D_e): $D_e = 400\text{mm}$
- Diámetro interno (D_i): $D_i = 150\text{mm}$
- Velocidad de rotación (N): $N = 2800\text{ RPM}$
- Número específico de revoluciones de caudal (N_q): $N_q = 320$
- Cifra de presión (ψ): $\psi = 0,16$
- Eficiencia total (n): $n = 0,75$
- Eficiencia volumétrica (n_v): $n_v = 0,98$
- Eficiencia mecánica (n_m): $n_m = 0,96$

NOTA: El flujo de aire que ingresará al ventilador es sin rotación.

5.4.1 Requerimiento del caudal de aire en el horno.

Para poder calcular el caudal de aire en el horno, consideraremos el peso específico del aire ($\gamma_{\text{aire}} = 1,29\text{ Kg/m}^3$).

Se sabe que:

$$Nq = \frac{N\sqrt{Q}}{H^{3/4}} \text{ ----- (5.59)}$$

Donde:

Nq: número específico de revoluciones de caudal

N: número de revoluciones [RPM]

H: altura total [m]

Q: caudal de aire en [m³/s]

También tenemos que:

$$\psi = \frac{2gH}{U_e^2} \text{ ----- (5.60)}$$

Donde:

ψ : Cifra de presión

g: Aceleración de la gravedad [m/s²]

U_e: velocidad tangencial [m/s]

Se conoce también:

$$U_e = \frac{\pi D_e N}{60} \text{ ----- (5.61)}$$

Donde:

D_e: diámetro exterior [m]

N: número de revoluciones en [RPM]

Hallando la velocidad tangencial de la ecuación (5.61), se tiene:

$$U_e = \frac{\pi \times 0,4 \times 2800}{60} = 58,643 \text{ m/s}$$

$$U_e = 58,643 \text{ m/s}$$

De la ecuación (5.60), despejamos H y se tiene:

$$H = \frac{U_e^2 \psi}{2g} \text{ ----- (5.62)}$$

Remplazando el resultado anterior en 5.62:

$$H = \frac{58,643^2 \times 0,16}{2 \times 9,8} = 28,0735m$$

$$H = 28,0735m$$

De la ecuación (5.59), despejamos Q, se tiene:

$$Q = \frac{N_q^2 H^{3/2}}{N^2} \text{ ----- (5.63)}$$

Remplazando los resultados en (5.63) se tiene:

$$Q = \frac{320^2 \times 28,0735^{3/2}}{2800^2} = 1,939m^3 / s$$

$$Q = 1,939m^3 / s$$

El volumen interior del horno del acápite 5.3.2 ya calculado: V = 6,488424 m³; en 10 minutos de funcionamiento del ventilador, el caudal requerido Q₁ será:

$$Q_1 = \frac{V}{t} = \frac{6,488424}{10 \times 60} = 0,0108 \frac{m^3}{s}$$

Por lo que: Q > Q₁ ¡OK! El caudal de nuestro ventilador es más que suficiente para expulsar el aire y la humedad presente al interior del horno.

5.4.2 Potencia de accionamiento del ventilador.

La potencia de accionamiento del ventilador lo determinaremos según la fórmula siguiente:

$$P = \frac{1}{100} \cdot \frac{\gamma Q H}{n} \text{ ----- (5.64)}$$

Donde:

P: potencia de accionamiento del ventilador [Kw]

γ: Peso específico del aire [Kg/m³]

Q: caudal en [m³/s]

H: altura [m]

n: Eficiencia total del ventilador

Para la determinación de la potencia de accionamiento, hallaremos el peso específico del aire a la temperatura de T = 120°C.

De la ecuación (5.38) se tiene:

$$p.v = m.R.T \quad ; \quad \gamma = \frac{m}{v}$$

$$\Rightarrow \gamma_{\text{aire}} = \frac{P}{R.T} = \frac{100\text{KPa}}{0.287 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{K}} \cdot 393^\circ\text{K}} = 0,886 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$\Rightarrow \gamma_{\text{aire}} = 0,886 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

Remplazando en la ecuación (5.64) se tiene:

$$P = \frac{1}{102} \times \frac{0,886 \times 1,939 \times 28,0735}{0,75} = 0,630444 \text{Kw}$$

$$P_{eje} = 630,444 \text{w}$$

Ahora calcularemos la potencia a la temperatura ambiente T = 20°C y el peso específico del aire que es de 1,29 Kg/m³. Remplazando en la ecuación (5.64) se tiene:

$$P = \frac{1}{102} \times \frac{1,29 \times 1,939 \times 28,0735}{0,75} = 0,91791 \text{Kw} = 917,91 \text{w}$$

$$P_{eje} = 917,91 \text{w}$$

NOTA: (Peje = 917,91w) < (Ventilador = 3772w) ⇒ ¡OK!

Entonces para un funcionamiento eficiente obtenemos el mayor:

$$P_{eje} = 917,91 \text{w}$$

$$P_{\text{ventilador}} = 917,91 \text{w}$$

También se tiene:

$$\Delta C_u = \frac{g \cdot n_h \cdot H}{U} \quad \text{-----} \quad (5.67)$$

$$n = n_m \times n_v \times n_h \quad \text{-----} \quad (5.68)$$

Despejando la eficiencia hidráulica (n_h):

$$n_h = \frac{n}{n_m \cdot n_v} = \frac{0,75}{0,96 \times 0,98} = 0,797$$

$$n_h = 0,797$$

Hallando la velocidad tangencial (U):

$$U = \frac{\pi D_m N}{60} \quad \text{-----} \quad (5.69)$$

$$D_m = \frac{D_i + D_e}{2} = \frac{150 + 400}{2} = 275 \text{mm} = 0,275 \text{m}$$

$D_m = 0,275 \text{m} \Rightarrow$ en la ec. (5.69) se tiene:

$$U = \frac{\pi \times 0,275 \times 2800}{60} = 40,317 \text{m/s}$$

$U = 40,317 \text{m/s} \Rightarrow$ en la ec. (5.67) se tiene:

$$\Delta C_u = \frac{9,8 \times 0,797 \times 28,0735}{40,317} = 5,439 \text{m/s}$$

$$\Delta C_u = 5,439 \text{m/s}$$

de la figura 5.24 se tiene:

$$w_{\infty}^2 = C_m^2 + w_{\infty u}^2 \quad \text{-----} \quad (5.70)$$

$$w_{\infty u} = U - \frac{\Delta C_u}{2} \quad \text{-----} \quad (5.71)$$

Remplazando la ecuación (5.71) en (5.70) se tiene:

$$w_{\infty}^2 = C_m^2 + \left(U - \frac{\Delta C_u}{2} \right)^2 \quad \text{-----} \quad (5.72)$$

También:

$$Q = \frac{\pi}{4} D_e^2 (1 - v^2) C_m \quad \text{----- (5.73)}$$

$$\text{se sabe : } v = \frac{D_i}{D_e} = \frac{150}{400} = 0,375$$

Hallando C_m a partir de la ecuación (5.73):

$$C_m = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} D_e^2 (1 - v^2)} = \frac{1,939}{\frac{\pi}{4} \times 0,4^2 \times (1 - 0,375^2)} = 17,955 \text{ m/s}$$

$$C_m = 17,955 \text{ m/s}$$

Remplazando en la ecuación (5.72) se tiene:

$$w_\infty^2 = 17,955^2 + \left(40,317 - \frac{5,439}{2} \right)^2$$

$$w_\infty = 41,665 \text{ m/s}$$

Remplazando en la ecuación (5.66), se tiene:

$$C_s \frac{L}{t} = \frac{2 \times 5,439}{41,665} = 0,261$$

$$\Rightarrow Fc = C_s \frac{L}{t} = 0,261 \quad \text{----- (5.74)}$$

$$\Rightarrow Fc = 0,261$$

5.4.4 Selección del motor.

Según el acápite 5.4.2, donde se obtuvo la potencia de accionamiento en el eje del ventilador, cuyo resultado fue $P_{eje} = 917,21 \text{ w}$. Pero en el caso de la selección del motor haremos uso de las tablas proporcionadas por la empresa "Delcrosa"; para ello se considerará las pérdidas de potencia en la transmisión de las chumaceras y de la transmisión por faja en "V". Por lo tanto; se estimará las eficiencias para cada una de ellas:

$$\eta_T = \eta_c^2 \eta_F \quad \text{-----} \quad (5.75)$$

Donde:

η_T : Eficiencia de transmisión total

η_c : Eficiencia de las chumaceras de apoyo (dos chumaceras donde $\eta_c = 0,96$; en la ecuación (5.75) se eleva al cuadrado por existir dos chumaceras.

η_F : Eficiencia de la transmisión por faja ($\eta_F = 0,95$)

$$P_{Motor} = \frac{P_{eje}}{\eta_T} \quad \text{-----} \quad (5.76)$$

Reemplazando las eficiencias en la ecuación (5.75) se tiene:

$$\eta_T = 0,96^2 \times 0,95 = 0,876$$

$\eta_T = 0,876 \Rightarrow$ en la ecuación (5.76):

$$P_{Motor} = \frac{917,21w}{0,876} = 1047,04w = 1,4054Hp \approx 1,5Hp$$

$$P_{Motor} = 1,5Hp$$

Por lo tanto; con el valor anterior obtenido de 1,5 Hp y con la utilización de las tablas de motores "Delcrosa" que se encuentra en el apéndice, seleccionamos el motor 80b de 2 polos, Asíncrono, trifásico, con corriente alterna, con potencia nominal de 1,8Hp a 60 Hz y 3600RPM.

NOTA: Recordando el acápite 5.4 logramos reducir las RPM del motor por medio de las poleas de 3600 a 2800RPM al que girará el eje del ventilador.

5.4.5 Sistema de Transmisión del Ventilador.

La transmisión a emplearse será de faja en "V" por ser el recomendable y que accionará el eje del ventilador que girará a 2800

RPM, por medio del motor seleccionado de una velocidad de salida de 3600RPM de 1,8Hp. La ventiladora prestará un servicio normal.

La distancia entre los centros de los ejes del motor y el ventilador deberá limitarse entre 50cm y 53,5cm y por otro lado, el diámetro la polea motriz no deberá exceder a 12cm.

NOTA: para el cálculo del sistema de transmisión del ventilador haremos uso de las tablas del Ing. Hori Asano.

(a) Entonces empleando las tablas Hori, tabla N° 1, el motor que hemos seleccionado pertenece a la clase "1", donde el factor de servicio es de: $F_s=1,1$

La potencia de diseño Hp_d será:

$$Hp_d = P F_s \text{ ----- (5.77)}$$

Donde:

P: potencia del motor (P=1,8 Hp)

F_s : factor de servicio ($F_s = 1,1$)

(b) Selección de la sección de la faja

Empleando la figura N° 1 y con 1,98 Hp de potencia y 3600RPM se selecciona:

Sección de la faja "A" (ancho mínimo = 12,7mm; altura máxima = 7,9mm)

(c) Relación de transmisión (m_g)

$$m_g = \frac{RPM_{Motor}}{RPM_{ventilador}} \text{ ----- (5.78)}$$

$$m_g = \frac{3600}{2800} = 1,286$$

También se tiene:

$$m_g = \frac{D}{d} \text{ ----- (5.79)}$$

Donde:

D: diámetro de la polea conducida

d: Diámetro de la polea motriz (d=120mm = 4,724")

Remplazando en la ecuación (5.79) se tiene:

$$1,286 = \frac{D}{120mm} \Rightarrow D = 154,32mm = 6,076"$$

Chequeando la tabla N° 3, se observa que para sección "A":

$d_{\min} = 66mm$; recomendado: $76 \leq d \leq 127mm$

Nuestro d = 120mm elegido se encuentra en el rango ¡OK!

(d) Longitud de la faja (L)

Dato: "C" en el rango 50 a 53,5cm

Donde C: distancia entre los centros de los ejes del motor y del ventilador

$$L = 2C + 1,65 (D+d) \text{ ----- (5.80)}$$

Remplazando las distancias mínimas y máximas en la ec. (5.80):

$$L_{\minimo} = 2 \times 500 + 1,65 (154,32 + 120) = 1452,63mm = 57,19"$$

$$L_{\minimo} = 57,19"$$

$$L_{\maximo} = 2 \times 535 + 1,65 (154,32 + 120) = 1522,63mm = 59,95"$$

$$L_{\maximo} = 59,95"$$

De la tabla N° 7 seleccionamos una longitud estándar de la faja que será A58; con: $L = 59,3" = 1506,22mm$

Por lo tanto; la distancia correcta entre centros será:

$$L = 2C + \frac{\pi (D + d)}{2} + \frac{(D - d)^2}{4C} \text{ ----- (5.81)}$$

Remplazando en la ecuación anterior:

$$1506,22 = 2C + \frac{\pi(154,32 + 120)}{2} + \frac{(154,32 - 120)^2}{4C} ; \text{ resolviendo:}$$

$$C = 535\text{mm} = 21,06''$$

(e) Potencia por faja

Para seleccionar recurrimos a la tabla N° 9

Con: $d = 4,724''$ y 3600RPM; se obtiene:

$$\left(\frac{Hp}{faja} \right)_{Tabla} = 5,12$$

$$Hp_{adicional} = \frac{H_{1A} \text{ RPM}_{Motor}}{100} \text{ ----- (5.82)}$$

Donde:

H_{1A} : se obtiene de la tabla N° 6, $H_{1A} = 0,01079$, luego:

$$Hp_{adicional} = \frac{0,01079 \times 3600}{100} = 0,388Hp$$

$$Hp_{adicional} = 0,388Hp$$

(f) Factores de corrección

- Angulo de contacto (K_{θ})

$$\frac{D - d}{C} = \frac{154,32 - 120}{535} = 0,064 \approx 0,1$$

Luego de la tabla N° 5, $K_{\theta} = 0,99$

-Por longitud de faja (K_L)

De la tabla N° 7 se obtiene $K_L = 0,97$

(g) Potencia de transmisión de una faja ($Hp / faja$)

$$\left(\frac{Hp}{faja} \right) = \left\{ \left(\frac{Hp}{faja} \right)_{Tabla} + Hp_{adicional} \right\} \cdot K_{\theta} \cdot K_L \text{ ----- (5.83)}$$

$$\left(\frac{Hp}{faja} \right) = \{5,12 + 0,388\} \times 0,99 \times 0,97 = 5,289Hp$$

$$\left(\frac{Hp}{faja}\right) = 5,289Hp$$

(h) Número de fajas (NF)

$$N_F = \frac{Hp_{diseño}}{\left(\frac{Hp}{faja}\right)} = \frac{1,98Hp}{5,289Hp} = 0,374 \approx 1$$

Por lo tanto; $N_F = 1$ faja (será suficiente)

5.4.6 Número de álabes del ventilador.

El número de álabes lo designaremos por "Z" donde:

$$Z = K \left(\frac{v}{1-v} \right) \text{ ----- (5.84)}$$

$$v = \frac{D_i}{D_e} \geq \sqrt{0,84\psi} \text{ ----- (5.85)}$$

Según recomendaciones de diseño, se tiene para ventiladores axiales:

K: <10 . . . 12> y Z: <5 . . . 6>

Remplazando en la ecuación (5.85) se tiene:

$$v = \frac{150}{400} = 0,375 \quad ; \quad \sqrt{0,84\psi} = \sqrt{0,84 \times 0,16} = 0,367$$

Luego, $v = 0,375 > 0,367 \Rightarrow ¡OK!$

Eligiendo un K = 10, por recomendación y remplazando en la ecuación

(5.84):

$$Z = 10 \cdot \left(\frac{0,375}{1-0,375} \right) = 6$$

Por lo tanto, Z = 6 álabes $\Rightarrow ¡OK!$

De la ecuación (5.74) se tiene:

$$C_s \cdot \frac{L}{t} = 0,261$$

Pero según recomendaciones de diseño, se tiene: C_s : <0,6 . . . 0,9>

Tomaremos: $C_s = 0,8$ para nuestro diseño y en la ecuación (5.74):

$$0,8 \cdot \frac{L}{t} = 0,261 \quad \Rightarrow \quad \frac{L}{t} = 0,326$$

$$\text{También: } \pi \cdot D_m = Z \cdot t \quad \text{----- (5.86)}$$

$$D_m = \frac{D_e + D_i}{2} = \frac{400 + 150}{2} = 275 \text{ mm}$$

Remplazando en la ecuación (5.86):

$$\pi \times 275 = 6 \cdot t \quad \Rightarrow \quad t = 143,985 \text{ mm}$$

$$\text{Pero se sabe que } \frac{L}{t} = 0,326 \quad \Rightarrow \quad \frac{L}{143,985} = 0,326$$

$L = 46,939 \text{ mm}$ (longitud de cuerda en el álabe)

5.4.7 Cálculo de las pérdidas en el ventilador.

Las pérdidas existentes en el ventilador lo clasificaremos en pérdidas internas y pérdidas externas.

- Pérdidas Internas (n_i).- Las pérdidas internas están constituidas por las pérdidas hidráulicas y pérdidas volumétricas; donde las hidráulicas son producidos por (efectos de choque, efectos viscosos-fricción y separación de capa límite), y las pérdidas volumétricas la producen (Fugas internas y fugas externas).

También se sabe que:

$$n = n_h \cdot n_v \cdot n_m \quad \text{----- (5.87)}$$

Donde:

n : Eficiencia total ($n=0,75$)

n_h : Eficiencia Hidráulica

n_v : Eficiencia Volumétrica ($n_v=0,98$)

n_m : Eficiencia mecánica ($n_m=0,96$)

$$0,75 = n_h \times 0,98 \times 0,96$$

$$n_h = 0.797 ;$$

$$n_i = n_h \cdot n_v \text{ ----- (5.88)}$$

Reemplazando en la ec. (5.88) se tiene:

$$n_i = 0,797 \times 0,98 = 0,781$$

$$n_i = 0,781$$

Pérdidas externas (n_m).- Las pérdidas externas están constituidas por las pérdidas mecánicas (rozamiento del eje con cojinetes, rozamiento del disco), pérdidas en el disco y pérdidas de refrigeración. Nuestra eficiencia mecánica considerada por recomendación es: $n_m = 0,96$

NOTA: No confundir estas eficiencias de pérdidas con las eficiencias del acápite número 5.4.4 ; que está referida a las eficiencias del sistema de transmisión de potencia del motor hacia el eje del ventilador.

5.5 DISEÑO DEL TABLERO ELÉCTRICO.

El tablero eléctrico cumplirá también el papel de tablero de control, y estará constituido por los siguientes dispositivos:

Interruptor termomagnético de 30 A

Pirómetro (controlador digital de temperatura, recibe información del termostato)

Relé encapsulado. (Para activar el contactor)

Termostato (sensor de temperatura)

Contactor de 32 A

Pulsadores

Lámparas señalizadoras

Caja metálica, que contendrá todos los dispositivos, hecho en base al material de acero comercial.

El conductor que llega a los calentadores serán del tipo siliconado 12 AWG, y el alimentador será TW 8 AWG

CAPITULO VI

EVALUACIÓN DE COSTOS.

Al diseñar cualquier tipo de maquinaria, el costo es un factor preponderante para poder invertir, en el diseño y fabricación de maquinarias, en este caso del horno para mantenimiento y/o fabricación de transformadores. La ejecución de un diseño económico depende mucho de la experiencia del diseñador, como también de su conocimiento concreto de las ciencias de la ingeniería.

Para evaluar el costo de fabricación del horno, se descompondrá en varios sumandos que viene a ser: costo de la materia prima (materiales de construcción), mano de obra para la ejecución y el empleo de las máquinas herramientas de trabajo. También se debe considerar el equipamiento, que vienen a ser los elementos que se compran, tales como: motor eléctrico, chumaceras, termostato etc., que estos son instalados directamente en el horno.

También debo indicar, que al costo total obtenido, se deben de agregar los gastos generales que son: gastos de venta o gastos administrativos en general. Al final se debe considerar también la utilidad de la empresa metal mecánica para la ejecución del horno.

También debo señalar, que en el departamento de costos y presupuestos de

cualquier empresa metal mecánica, tales como: FIMA, FAMIA INDUSTRIAL, etc., la evaluación de costos se realiza a base de estimados, teniendo un programa ya sea en Excel u otro programa, que nos ayude a realizar la evaluación de costos de cualquier tipo de maquinaria en forma eficiente.

NOTA: Los precios están en dólares americanos.

COSTOS PARA EL DISEÑO DEL HORNO ELECTRICO

ITEM	DENOMINACION	U	CANT.	P, U \$	P.PARC. \$	TOTAL \$
1.0	Construcción paredes del horno					
	<u>-MATERIALES</u>					
	Plancha de acero inoxidable 1/20"	Kg	170	1,50	255	
	Planc. de acero inox. Rugoso 1/20"	Kg	15	1,5	22,5	
	Angulo de acero estruct.1"x1"x1/8"	U	12	20	240	
	Aislante fibra de vidrio	m	13	30	390	
	Soldadura	kg.	10	1,98	19,8	927
	<u>-MANO DE OBRA</u>					
	1 Operario (5 Días)	hh	40	3,28	131	
	3 ayudante (5 Días)	hh	120	2,75	330	461
	<u>-EQUIPO Y HERRAMIENTAS</u>					
	Máquina soldadora	hm	40	1,4	56	
	Herramienta (3% Mano de obra)				13,8	69,8
					Sub-total	1460
2.0	Construcción del ventilador					
	<u>-MATERIAL</u>					
	Plancha de acero estructural	Kg	14	0,5	7	
	Eje de acero inox. Bohler 2" φ	U	1	80	80	
	Soldadura	Kg	5	1,98	9,90	96,9
	<u>-MANO DE OBRA</u>					
	1 Operario (2 Días)	hh	16	3,28	52,5	
	1 Ayudante (2 Días)	hh	16	2,75	44,0	96,5
	<u>-EQUIPO Y HERRAMIENTAS</u>					
	Máquina soldadora	hm	16	1,4	22,4	
	Herramienta (3% Mano de obra)				2,90	25,3
					Sub-total	219
3.0	Sistema de transmisión					
	<u>-MATERIAL</u>					
	Plancha de acero estructural 3/16"	U	30	0,5	15	
	Polea motriz (*)	Kg	10	1,5	15	
	Polea Conducida (*)	Kg	40	1,5	60	
	Faja en "V"	m	1,8	15	27	117
	<u>-MANO DE OBRA</u>					
	1 Operario (2 Días)	hh	16	3,28	52,5	
	1 Operario (4 Días)	hh	16	2,75	44	96,5
	<u>-EQUIPO Y HERRAMIENTA</u>					
	Herramienta (3% Mano de obra)				0,965	0,965
					Sub-total	214

ITEM	DENOMINACION	U	CANT.	P, U \$	P.PARC. \$	TOTAL \$
4.0	<u>Accesorios</u>					
	- Calentadores eléctricos.	U	3	20	60	
	- Motor eléctrico (Delcrosa)	U	1	350	350	
	- Chumaceras	U	2	50	100	
	- Base de motorización	U	1	15	15	
	- Termómetro	U	1	27	27	
	- Pintura epóxica (color Aluminio)	Gl	1	43,5	43,5	
					Sub-total	596
5.0	<u>Tablero eléctrico y de control</u>					
	- Interruptor termomagnético	U	1	8	8	
	- Pirómetro (regist.digital de temp.)	U	1	27	27	
	- Relé	U	1	3	6	
	- Termostato	U	1	20	20	
	- Contactor	U	1	21	21	
	- Conductor siliconado	m	15	1	15	
	- Caja para adosar	U	1	10	10	
					Sub-total	107
					TOTAL	2600

Donde: (*) Acero Bohler V320 VCL.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

1. El horno eléctrico diseñado para el secado de transformadores de potencia trabajará a una temperatura máxima de 120°C cuando el transformador que alberga el horno tenga una capacidad máxima de 10 MVA; claro esta que para transformadores de potencias menores trabajará a temperaturas menores y tiempos de secado menores sin problema.
2. Para que el secado sea óptimo se tendrá que cumplir con todas las pruebas del acápite 3.1
3. El aislante (fibra de vidrio) con un espesor de 2" cumplirá su función satisfactoriamente, claro está que habrá una ligera transmisión de calor al exterior, es decir no aislará al 100%, prolongando el tiempo de calentamiento para llegar a la temperatura requerida en el horno, lo cual finalmente no repercute y está en el rango de tolerancia.
4. El ventilador hace un trabajo importante, por ello se ha diseñado; el tablero eléctrico, nos permite actuar con certeza para lograr nuestro objetivo.

RECOMENDACIONES

- 1 Antes de introducir el transformador al horno, es importante y decisivo limpiar con diluyentes de aceite, para luego pulverizarlo con aceite nuevo, para evitar agentes tóxicos, luego de ello se procederá al secado

correspondiente

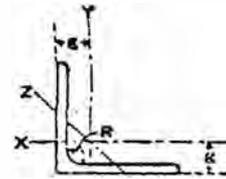
- 2 El operario que directamente manipula el transformador para su secado deberá estar provisto de protectores como: casco, guantes, botas, máscara, para evitar accidentes físicos, como también la presencia de algún residuo tóxico que siempre existen en volúmenes mínimos.

BIBLIOGRAFIA

1. FRANK KREITH; "Principios De Transferencia De Calor", Edición 1970 – México.
2. AARON DEUTSCHMAN, WALTER J.MICHELS, CHARLES E.WILSON; "Diseño de Máquinas", 6ta. reimpresión México-1995.
3. C. MATAIX; "Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas"
4. A.H.CHURCH; "Bombas y Máquinas Soplantes Centrífugas"
5. ANDREW PYTEL, FERDINAND L. SINGER, "Resistencia de Materiales" 4ta. edición; ediciones Harla-1994.
6. J.NAKAMURA MUROY; "Termodinámica Básica Para Ingenieros" Edición 1977 – Lima.
7. JUAN HORI A.; "Tabla de Diseño de Elementos de Máquinas", 8va. edición, Lima-1990.
8. Apuntes de clase y tablas; "De los Cursos de Transferencia de Calor y Turbomáquinas – Universidad Nacional De Ingeniería".

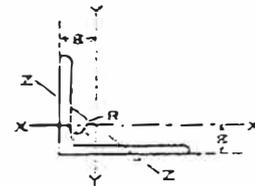
ANEXOS

**ÁNGULOS IGUALES
DATOS TÉCNICOS**



Dimensión Alas	Espesor	A	R	Eje X- Xy Eje Y- Y				Eje Z- Z
		Área	Radio	I	S	.r o r'	g	.r''
		Sección	Filete	Pulg4	Pulg3	Pulg	Pulg2	Pulg2
1" x 1"	1/8	.23	1/8	.02	.03	.29	.34	.20
	3/16	.34	1/8	.03	.04	.30	.32	.19
	¼	.44	1/8	.04	.06	.30	.30	.20
1.1/4"x1.1/4"	1/8	.30	3/16	.04	.05	.38	.36	.25
	3/16	.43	3/16	.06	.07	.38	.38	.24
	¼	.56	3/16	.08	.09	.37	.40	.24
1.1/2"x1.1/2"	1/8	.36	3/16	.08	.07	.47	.42	.3
	3/16	.53	3/16	.11	.10	.46	.44	.29
	¼	.69	3/16	.14	.13	.45	.47	.29
2" x 2"	1/8	.48	1/4	.19	.13	.63	.55	.29
	3/16	.71	¼	.27	.19	.62	.57	.40
	¼	.94	¼	.35	.25	.61	.59	.39
	5/16	1.15	¼	.42	.30	.60	.61	.39
	3/8	1.36	¼	.48	.35	.59	.64	.39

**ÁNGULOS IGUALES
DATOS TÉCNICOS**



Dimensión Alas	Espesor	A	R	Eje X- Xy Eje Y- Y				Eje Z- Z
		Área	Radio	I	S	.r o r'	g	.r''
		Sección	Filete	Pulg4	Pulg3	Pulg	Pulg	Pulg
2.1/2" x 2.1/2"	3/16	.90	¼	.55	.30	.78	.69	.49
	¼	1.19	¼	.70	.39	.77	.72	.49
	5/16	1.47	¼	.85	.48	.76	.74	.49
	3/8	1.73	¼	.98	.57	.75	.76	.49
	½	2.25	¼	1.2	.72	.74	.81	.49
3" x 3"	¼	1.44	5/16	1.2	.58	.93	.84	.59
	5/16	1.78	5/16	1.5	.71	.92	.87	.59
	3/8	2.11	5/16	1.8	.83	.91	.89	.59
	1/2	2.75	5/16	2.2	1.1	.90	.93	.58
3.1/2" x 3.1/2"	¼	1.69	3/8	2.0	.79	1.09	.97	.58

PESOS DE PLANCHAS EN KG . PESO = 18.82 x pie² x esp

ESPESOR	GAGE	KG/m2	3" x 6"	3" x 8"	4" x 8"	4" x 10"	5" x 10"	5" x 30"
			1.67 m2	2.23 m2	2.97 m2	3.78 m2	4.65 m2	9.29 m2

I GRADO COMERCIAL LAMINADO EN FRIO ≤ 1/64 Y EN CALIENTE (≥ 5/64)

1/54"	26	4	6.6	8.8	12			
1/40"	24	5	8.3	11.1	14.8			
1/32"	22	6.3	10.5	14	18.6			
1/27"	20	7.8	13.1	17.5	23.3			
1/20"	18	9.6			28.5			
1/16"	16	18.5	20.9		37.1	46.4		
5/64"	14	15.8			46.8	59.5		
3/38"		19			56.6	75.4		
1/8"		25.4			75.4	93.6	116.8	
5/38"		31.7			94.3	118	147.3	
3/16"		38.1			113.1	147.5	176.8	353.6
1/4"		50.8			150.8	188.5	235.6	4611.2
5/16"		63.5			188.5		294.6	589.2
3/8"		76.2			226.2		353.5	707
1/2"		101.5			301.6		471.3	922.4
5/8"		126.8			377		589.1	1176
3/4"		152.2			452.2		707	1416
1"		203			603.2		942.5	1885
1 1/2"		304					1413.7	
2"		405.4					1885	

ESTRIADA

1/8"		31.6			94			
5/32"		37.7			112			
3/16"		42.1			125		195	
1/4"		52.3		116.2	155.2		242	

GALVANIZADA LISA

0.3 mm	30	2.6	4.4	5.8				
0.4 mm	28	3.4	5.9	7.5				
0.5 mm	26	4.2	7.1	9.4				
0.6 mm	24	5	8.4	11	14.6			
0.9 mm	21	7.3	12.3	16.4	21.5			
1.0 mm	19	8	13.4	18	23.8			
1.2 mm	18	9.6	16.3	21.4	28.2			
1.5 mm	16	13	21.7		38.6			
ESPESOR	GAGE	KG/m2	3' x 6'	3' x 8'	4' x 8'	4' x 10'	5' x 10'	5' x 20'

PESOS DE PLANCHAS GRADO
COMERCIAL, ESTRIADAS Y
GALVANIZADAS LISAS

CARACTERISTICAS DE FUNCIONAMIENTO

Potencia		Motor	RPM	Efic %	Cos φ	TORQUE			Corriente		PD ² Rotor Kg.m ²	Peso Kg.	Fs
HP	KW					Cn Kg m	Ca Cn	Cm Cn	Ia In	In a 220V			

1200 RPM - 60 HZ - 6 POLOS -

0.3	0.22	80a	1080	54	0.67	0.20	2.20	2.0	3.0	1.60	0.0069	10.4	1.15
0.6	0.45	80a	1130	68	0.63	0.38	2.20	2.8	4.0	2.80	0.0091	13.4	1.15
0.9	0.67	80b	1130	72	0.70	0.57	2.00	2.7	4.0	3.50	0.0110	14.8	1.15
1.2	0.9	90La	1140	75	0.71	0.76	2.00	2.6	4.2	4.40	0.0220	20.8	1.15
1.8	1.3	90L	1145	75	0.72	1.10	2.00	2.3	4.5	6.60	0.0260	24.0	1.15
2.4	1.8	100L	1145	78	0.72	1.50	2.00	2.8	4.5	8.40	0.0390	29.3	1.15
3.6	2.7	112M	1150	81	0.71	2.20	2.00	3.0	5.5	12.20	0.0580	37.5	1.15
4.8	3.6	132S	1150	82	0.76	3.00	2.10	3.3	5.5	15.20	0.1150	57.5	1.15
6.6	4.9	132Ma	1150	83	0.77	4.10	2.20	3.5	6.0	20.00	0.1640	72.0	1.15
9	6.7	132M	1155	83	0.78	5.60	2.00	3.2	6.0	27.00	0.1900	76.5	1.15
12	9.0	160M	1155	86	0.80	7.50	2.00	3.8	6.0	34.00	0.4100	111	1.15
20	15.0	160L	1150	89	0.80	12.60	1.80	2.2	6.4	55.00	0.5800	138	1.05
25	18.7	180L	1160	89	0.87	15.60	2.10	2.0	6.7	63.00	0.9200	190	1.15
30	22.4	200La	1165	89	0.82	18.70	1.70	2.5	7.0	80.00	1.4000	250	1.15
40	30.0	200L	1180	91	0.82	24.60	2.00	3.2	7.5	104	1.7000	268	1.15
50	37.5	225cM	1180	91	0.84	30.70	2.50	3.5	8.0	132	2.9000	345	1.15
70	52.2	250M	1175	91	0.80	43.20	2.80	2.9	6.5	188	5.4000	523	1.15
90	67.1	280S	1180	92	0.78	55.40	2.50	3.0	5.9	240	7.5000	625	1.15
100	75.0	280M	1180	92	0.80	61.50	2.50	3.0	6.0	266	8.8000	702	1.15
125	93.3	315Mra	1165	93	0.82	77.90	2.40	2.0	6.0	320	16.0000	1031	1.15
150	112	315Mr	1165	93	0.83	93.50	2.30	2.0	6.0	390	17.0000	1062	1.15
180	134	315Lr	1180	93	0.82	110.80	2.30	2.0	6.0	460	18.0000	1080	1.15
220	164	315L	1180	93	0.84	135.40	2.30	2.0	6.0	550	20.0000	1150	1.15

900 RPM - 60 HZ - 8 POLOS -

0.30	0.22	80a	830	61	0.60	0.26	1.8	2.2	3.2	1.64	0.0091	13.4	1.15
0.42	0.31	80b	840	61	0.62	0.36	1.8	2.2	3.1	2.20	0.0110	14.8	1.15
0.72	0.54	90La	835	67	0.63	0.62	1.6	2.4	3.3	3.40	0.0220	20.8	1.15
0.90	0.67	90L	840	72	0.61	0.77	2.0	2.4	3.7	4.00	0.0260	24.0	1.15
1.2	0.9	100La	840	71	0.64	1.00	2.0	2.4	4.0	5.20	0.0390	29.0	1.15
1.8	1.3	100L	840	72	0.67	1.50	2.0	2.4	4.0	7.40	0.0490	33.0	1.15
2.4	1.8	112M	850	72	0.68	2.00	1.7	2.2	4.0	9.60	0.0570	37.0	1.15
3.6	2.7	132S	860	79	0.68	3.00	1.7	2.2	4.5	13.20	0.1150	57.5	1.15
4.8	3.6	132M	865	80	0.69	4.00	1.8	2.2	5.0	17.00	0.1640	71.5	1.15
6.6	4.9	160Ma	865	81	0.69	5.50	1.7	2.2	5.0	23.00	0.3900	100	1.15
9	6.7	160M	865	82	0.72	7.50	1.7	2.2	5.2	30.00	0.4100	110	1.15
12	9.0	160L	865	86	0.70	10.00	1.7	2.2	5.2	39.00	0.5800	137	1.15
20	15.0	180L	860	88	0.71	16.90	1.8	2.0	5.4	62.40	1.0000	187	1.15
25	18.7	200L	875	90	0.76	20.70	1.8	2.5	6.2	71.00	2.1000	264	1.15
30	22.4	225cS	870	90	0.75	25.00	1.6	2.5	6.5	87.00	3.1000	320	1.15
40	30.0	225cM	875	92	0.76	33.20	2.1	2.0	5.5	112	3.4000	348	1.15
50	37.5	250M	875	91	0.73	41.50	2.1	2.0	6.4	147	6.3000	518	1.15
60	44.8	280S	875	91	0.77	49.80	2.3	2.0	5.0	168	10.0000	676	1.15
70	52.2	280M	875	91	0.78	58.10	2.3	2.0	5.0	194	12.0000	757	1.15
100	75.0	315Mra	875	91	0.81	83.00	2.0	2.0	5.0	266	19.0000	1010	1.15
125	93.3	315Mr	875	92	0.82	103.70	2.2	2.0	5.5	324	20.0000	1044	1.15
150	112	315Lr	880	92	0.82	123.80	2.2	2.0	5.5	390	21.1000	1070	1.15
180	134	315L	880	92	0.82	148.50	2.2	2.0	5.5	468	23.5000	1140	1.15

NOTA:

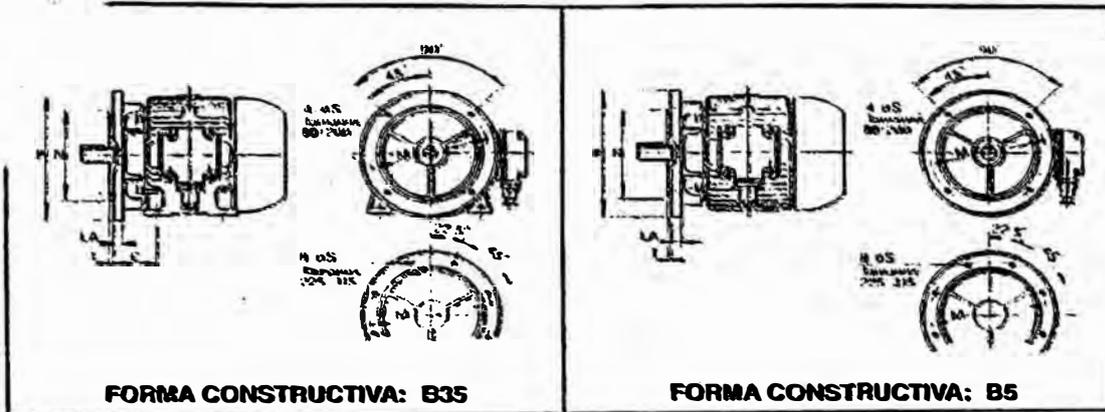
Para obtener: potencia, velocidades y corrientes a 50 Hz, multiplicar por el factor 0.833

CARACTERISTICAS DE FUNCIONAMIENTO

Potencia		Motor	RPM	Efic %	Cos φ	TORQUE			Corriente		PD ² Rotor Kg.m ²	Peso Kg.	Fs
HP	KW					Cn Kg m	Ca Cn	Cm Cn	Ia In	Ic a 220V			
3600 RPM - 60 HZ - 2 POLOS -													
0.9	0.67	80ar	3400	74	0.82	0.19	2.70	3.00	5.0	3.0	0.0041	12.2	1.15
1.2	0.9	80a	3440	75	0.80	0.25	3.00	3.00	6.0	3.9	0.0048	14.3	1.15
1.8	1.3	80b	3440	76	0.82	0.38	3.00	3.00	6.5	5.6	0.0056	15.0	1.15
2.4	1.8	90La	3450	78	0.84	0.50	2.20	3.00	6.5	7.2	0.0100	21.6	1.15
3.6	2.7	90L	3480	82	0.85	0.75	2.20	2.90	6.5	10.2	0.0120	24.0	1.15
4.8	3.6	100L	3480	82	0.85	1.00	2.40	3.00	6.5	13.6	0.0170	28.0	1.15
6.6	4.9	112M	3430	83	0.85	1.30	3.20	3.20	6.0	18.4	0.0280	39.5	1.15
9	6.7	132Sa	3450	84	0.85	1.70	3.20	3.20	6.5	24.4	0.0550	60.0	1.15
12	9.0	132S	3460	83	0.85	2.50	3.20	3.20	6.5	34.0	0.0640	64.0	1.15
15	11.2	132M	3470	85	0.86	3.10	3.20	3.20	6.5	40.0	0.0750	74.5	1.15
20	15.0	160Ma	3470	87	0.87	4.18	2.25	2.70	6.5	52.0	0.1750	103	1.10
25	18.7	160M	3480	88	0.88	5.20	2.70	2.90	6.9	63.0	0.2360	117	1.15
30	22.4	160L	3580	88	0.91	6.10	2.50	3.00	7.5	74.0	0.3100	140	1.15
40	30.0	180M	3530	88	0.92	8.10	3.40	2.40	7.2	96.0	0.3700	170	1.10
50	37.5	200La	3530	90	0.90	10.20	3.30	2.50	6.5	122.0	0.7200	250	1.15
60	44.8	200L	3540	88	0.91	12.30	2.60	2.50	8.0	146.0	0.8200	267	1.15
70	52.2	225N	3540	89	0.91	14.30	2.70	2.60	8.0	170.0	1.3000	349	1.15
100	75.0	250cM	3540	90	0.91	20.60	2.30	2.25	6.5	240.0	1.9500	470	1.10
125	93.3	280S	3540	90	0.91	25.60	2.70	2.60	7.5	296.0	3.4000	625	1.15
150	112	280M	3540	91	0.91	30.70	2.70	2.60	8.0	358.0	4.0000	702	1.15
180	134	315Mra	3540	93	0.91	37.00	2.70	2.60	8.0	415.0	6.0000	946	1.15
220	164	315Mr	3540	93	0.91	45.10	2.70	2.60	8.0	510.0	7.0000	966	1.15
260	194	315Lr	3550	93	0.91	53.20	2.70	2.60	8.0	600.0	7.1000	1000	1.15
310	231	315L	3550	93	0.91	63.40	2.70	2.60	8.0	710.0	8.0000	1080	1.15
1800 RPM - 60 HZ - 4 POLOS -													
0.6	0.45	80ar	1670	71	0.72	0.26	2.4	2.6	3.8	2.4	0.0059	10.4	1.15
0.9	0.67	80a	1670	73	0.73	0.38	2.5	2.7	4.4	3.3	0.0059	13.6	1.15
1.2	0.9	80b	1700	75	0.75	0.51	2.5	2.7	4.8	4.2	0.0094	15.4	1.15
1.8	1.3	90La	1710	77	0.78	0.76	2.2	2.7	5.0	6.0	0.0180	21.7	1.15
2.4	1.8	90L	1720	79	0.78	1.00	2.2	2.5	5.3	7.6	0.0220	24.0	1.15
3.6	2.7	100La	1730	81	0.80	1.50	2.3	2.7	5.8	10.8	0.0240	30.0	1.15
4.8	3.6	100L	1740	81	0.81	2.00	2.5	2.7	6.0	14.4	0.0300	33.3	1.15
6.6	4.9	112M	1740	83	0.82	2.70	2.5	2.8	6.6	19	0.0600	43.0	1.15
9	6.7	132S	1740	84	0.83	3.70	2.3	2.9	6.6	25	0.1310	61.5	1.15
12	9.0	132M	1745	85	0.84	5.00	2.4	3.0	6.5	33	0.1580	72	1.15
20	15.0	160M	1740	89	0.85	8.20	3.2	2.8	6.0	52	0.3100	111	1.10
25	18.7	160L	1740	89	0.86	10.40	3.2	2.8	6.7	64	0.3900	129	1.05
30	22.4	180M	1750	89	0.87	12.40	2.0	2.8	8.0	76	0.5500	172	1.15
40	30.0	180L	1750	89	0.86	16.60	3.0	3.2	8.5	102	0.6600	194	1.15
50	37.5	200L	1760	91	0.88	20.60	2.9	3.2	8.0	122	1.3000	270	1.15
60	44.8	225cS	1760	91	0.86	24.70	2.7	2.5	8.0	150	2.0000	330	1.15
70	52.2	225cM	1760	92	0.86	28.80	2.7	2.5	8.0	172	2.2000	350	1.15
100	75.0	250M	1770	92	0.89	40.00	2.8	2.4	7.0	238	3.4000	487	1.10
125	93.3	280S	1765	92	0.86	51.40	2.6	2.5	8.0	310	6.7000	696	1.15
150	112	280M	1765	92	0.86	61.70	2.6	2.5	8.0	370	7.7000	775	1.15
180	134	315Mra	1765	93	0.86	74.00	2.6	2.5	8.0	440	12.0000	1047	1.15
220	164	315mR	1765	93	0.86	90.50	2.6	2.5	8.0	540	14.0000	1074	1.15
260	194	315R	1775	94	0.88	106.40	2.6	2.5	8.0	620	14.1000	1090	1.15
310	231	315I	1775	94	0.88	126.80	2.6	2.5	8.0	730	15.7000	1160	1.15

NOTA:

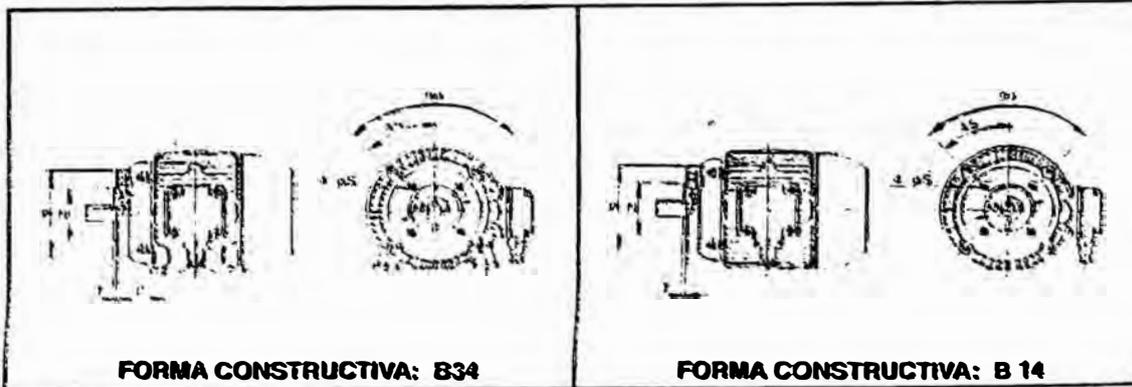
Para obtener la corriente en 380V, multiplicar por el factor 0.58; para 440V, multiplicar por el factor 0.5.



FORMA CONSTRUCTIVA: B35

FORMA CONSTRUCTIVA: B5

MOTOR	DIMENSIONES						
	C	LA	oM	oN	oP	T	oS
80	50	12	165	130	200	3.5	11.5
90	56						
100	63	14	215	180	250	4.0	14.0
112	70						
132	89	14	265	230	300	4.0	14.0
160	108	15	300	250	350	5.0	18.0
180	121						
200	133	15	350	300	400	5.0	18.0
225	149	16	400	350	450	5.0	18.0
250	162	18	500	450	550	5.0	18.0
280	190						
315	216	22	600	550	660	6.0	22.0

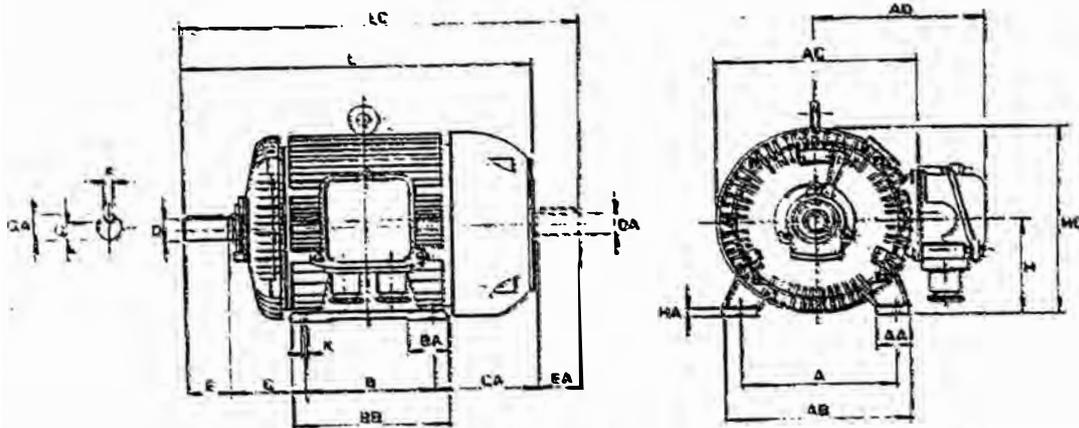


FORMA CONSTRUCTIVA: B34

FORMA CONSTRUCTIVA: B14

MOTOR	DIMENSIONES					
	C	oM	oN	oP	T	oS
80	50	100	80	120	3.0	1/4" - 20 UNC
90	56	115	95	140	3.0	
100	63	130	110	160	3.5	5/16" - 18 UNC
112	70	130	110	160	3.5	
132	89	165	130	200	3.5	3/8" - 16 UNC
160	108	215	180	250	4.0	1/2" - 13 UNC

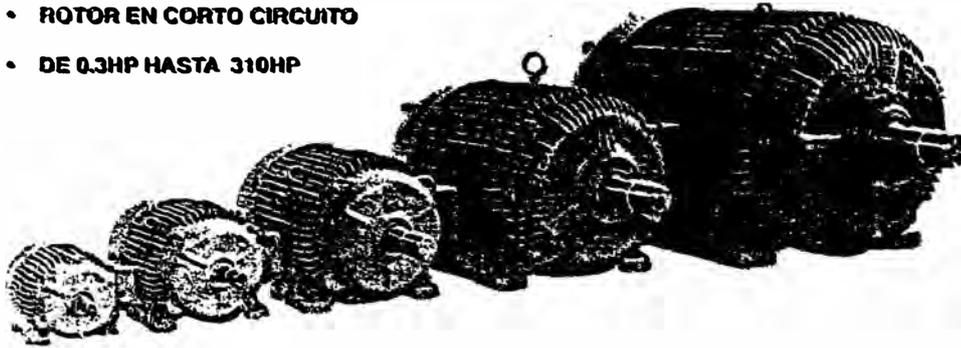
DIMENSIONES EXTERIORES (mm)
FORMA CONSTRUCTIVA: B3, B6, B7, B8



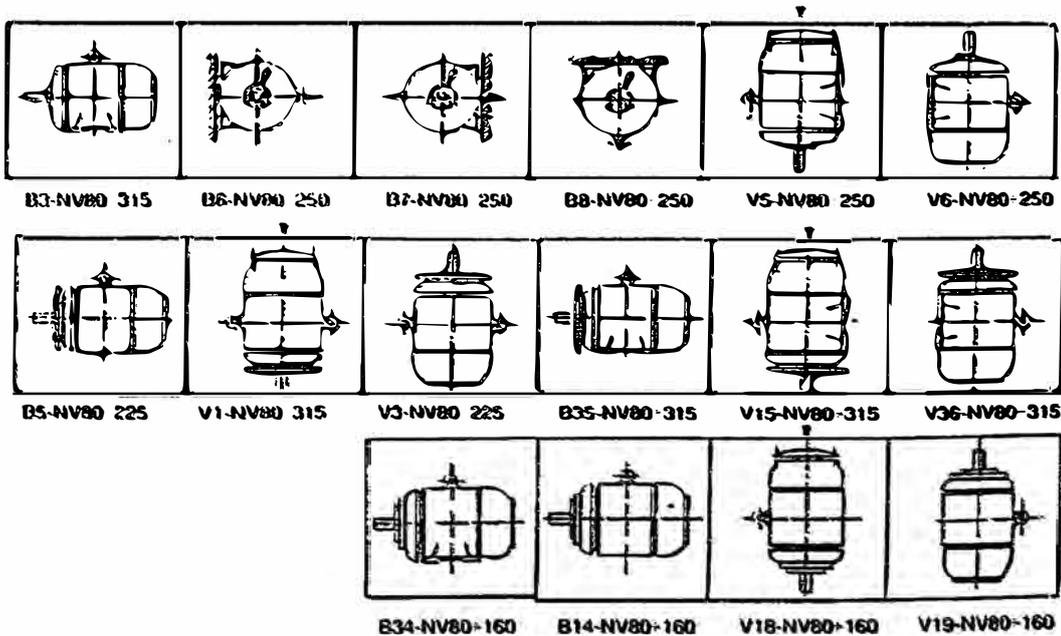
TIPO	A	AA	AB	AC	AD	B	BA	BB	C	CA	D/DA
NV 80	125	32	155	170	116.5	100	35	125	50	85	19 $\frac{1}{2}$
NV 90	140	35	174	194	135.5	125	38	153	56	96	24 $\frac{1}{2}$
NV 100	160	40	196	213	145.5	140	43	170	63	105	28 $\frac{1}{2}$
NV 112	190	45	230	237	170.5	140	50	180	70	119	28 $\frac{1}{2}$
NV 132 S	216	50	260	275	204.5	140	55	184	89	146	38 $\frac{1}{2}$
NV 132 M	216	50	260	275	204.5	178	55	222	89	146	38 $\frac{1}{2}$
NV 160 M	254	60	304	314	242.5	210	65	258	108	167	42 $\frac{1}{2}$
NV 160 L	254	60	304	314	242.5	254	65	302	108	167	42 $\frac{1}{2}$
NV 180 M	279	67	337	368	298.0	241	75	287	121	178	48 $\frac{1}{2}$
NV 180 L	279	67	337	368	298.0	279	75	325	121	178	48 $\frac{1}{2}$
NV 200 LA - L	318	75	382	405	318.0	305	80	355	133	198	55 $\frac{1}{2}$
NV 225 cS	356	80	426	452	373.0	286	85	342	149	220	60 $\frac{1}{2}$
NV 225 M - cM	356	80	426	452	373.0	311	85	367	149	220	60 $\frac{1}{2}$
NV 250 M - cM	406	90	480	509	399.0	349	90	409	168	258	65 $\frac{1}{2}$
NV 280 S	457	100	537	568	450.0	368	100	438	190	297	75 $\frac{1}{2}$
NV 280 M	457	100	537	568	450.0	419	100	489	190	297	75 $\frac{1}{2}$
NV 315 Mra - Mr	508	110	598	640	485.0	457	110	541	216	333	80 $\frac{1}{2}$
NV 315 Lr - L	508	110	598	640	485.0	508	110	592	216	333	90 $\frac{1}{2}$

TIPO	E/EA	F	G	GA	H	TOLERANCIA	HA	HC	K	L	LC
NV 80	40	6	15.5	21.5	80	- 0.5	9	165	9	273	315
NV 90	50	8	20.0	27.0	90	- 0.5	10	187	9	324	377
NV 100	60	8	24.0	31.0	100	- 0.5	11	207	12	365	428
NV 112	60	8	24.0	31.0	112	- 0.5	13	231	12	386	449
NV 132 S	80	10	33.0	41.0	132	- 0.5	15	270	12	452	535
NV 132 M	80	10	33.0	41.0	132	- 0.5	15	270	12	490	573
NV 160 M	110	12	37.0	45.0	160	- 0.5	18	317	14	587	705
NV 160 L	110	12	37.0	45.0	160	- 0.5	18	317	14	631	749
NV 180 M	110	14	42.5	51.5	180	- 0.5	22	364	14	648	758
NV 180 L	110	14	42.5	51.5	180	- 0.5	22	364	14	686	796
NV 200 La - L	110	16	49.0	59.0	200	- 0.5	25	403	18	744	854
NV 225 cS	140	18	53.0	64.0	225	- 0.5	28	451	18	794	934
NV 225 M - cM	140	18	53.0	64.0	225	- 0.5	28	451	18	819	959
NV 250 M - cM	140	18	58.0	69.0	250	- 0.5	30	505	22	912	1052
NV 280 S	140	20	67.5	79.5	280	+ 1.0	36	564	22	991	1131
NV 280 M	140	20	67.5	79.5	280	+ 1.0	36	564	22	1042	1182
NV 315 Mra - Mr	170	22	71.0	85.0	315	+ 1.0	40	635	27	1172	1343
NV 315 Lr - L	170	25	81.0	95.0	315	+ 1.0	40	635	27	1221	1391

- MOTORES ASINCRONOS TRIFASICOS
- CONSTRUCCION COMPLETAMENTE CERRADA
- VENTILACION EXTERNA
- ROTOR EN CORTO CIRCUITO
- DE 0.3HP HASTA 310HP



FORMAS CONSTRUCTIVAS (Según IEC 34 - 7)



MOTORES ASINCRONOS TRIFASICOS SERIE NV

NORMAS

Los motores asincrónicos trifásicos DELCROSA serie NV, son fabricados de acuerdo a las recomendaciones del Comité Electrotécnico Internacional -CEI- y están encuadrados dentro de las dimensiones y potencias correspondientes a los acuerdos celebrados entre los países del Mercado Común Europeo.

Asimismo, casi todos los tipos de la serie NV tienen dimensiones tales que corresponden a los frames dados por las Normas NEMA (USA), salvo pequeñas diferencias debidas al cambio del sistema métrico decimal al sistema de medida inglés.

CARACTERISTICAS ELECTRICAS

Las características eléctricas de funcionamiento corresponden a lo dispuesto en las normas internacionales para máquinas eléctricas rotativas, con aislamiento clase "F".

La sobretensión admisible en el bobinado es de 100°C, considerando una temperatura ambiente máxima de 40°C y hasta una altura de trabajo de 1,000 metros sobre el nivel del mar.

Para aumentar la protección contra la humedad y la sobrecarga, los motores DELCROSA de la serie NV son bobinados con alambre esmaltado, aislamiento clase "H" que posee una rigidez dieléctrica y una resistencia a las solicitaciones térmicas muy superiores al de la clase "F".

Las potencias nominales indicadas en nuestros catálogos se entienden, en servicio continuo con tensiones hasta 600 V., factor de servicio hasta 1.15 y variación máxima combinada de tensión y frecuencia de $\pm 10\%$.

PARTICULARIDADES CONSTRUCTIVAS

Los motores de la serie NV, son totalmente cerrados, con ventilación exterior y protección IP54 en los tipos 80 al 160 y protección IP55 en los tipos 180 al 315. Los rotores son de simple o doble jaula de ardilla, balanceados dinámicamente. Asimismo, son fabricados en distintas formas constructivas: con o sin base, con brida, con base

y brida, etc. para trabajo en posición horizontal o vertical.

RODAMIENTOS

(Cojinetes, Balaneros o Fulemanes)

Los motores asincrónicos DELCROSA hasta el tipo 250 se fabrican con rodamientos rígidos de bolas autolubricados, para un mínimo de 20,000 horas de trabajo; los tipos mayores al 250 se fabrican con rodamientos rígidos de bolas, dimensionados para un mínimo de 25,000 horas de trabajo, con engrasador con obturación de esfera para lubricación a presión.

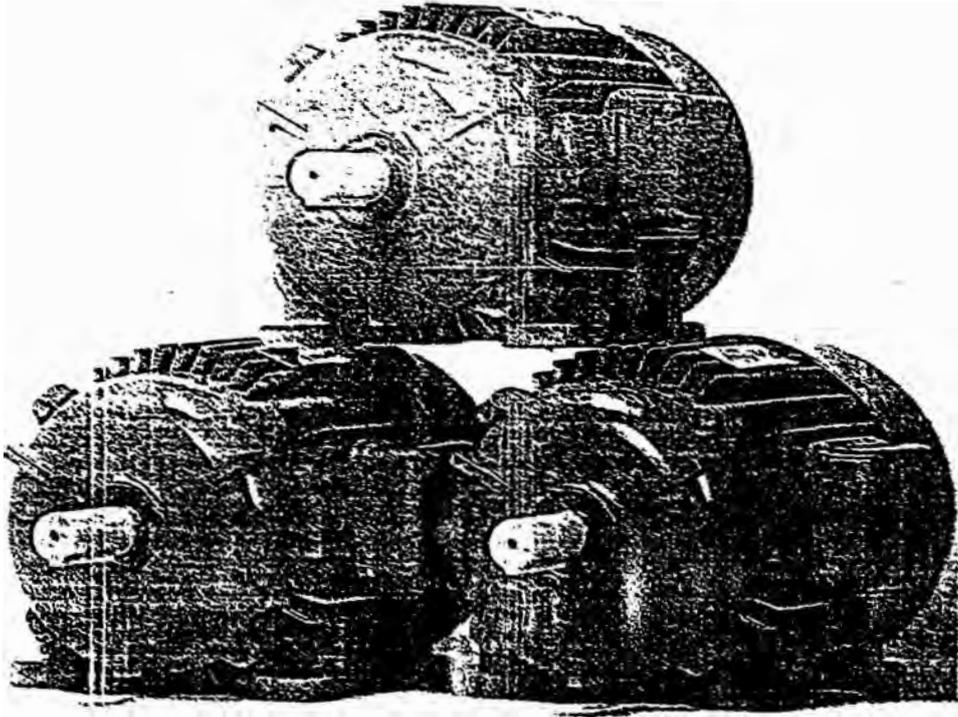
NORMAS PARA PEDIDOS

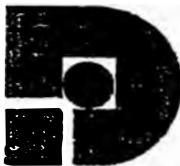
Rogamos a nuestros Clientes al efectuar sus pedidos y consultas, especificar los siguientes datos:

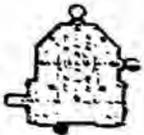
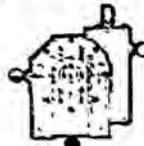
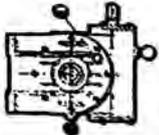
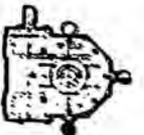
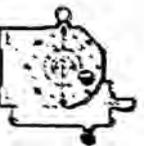
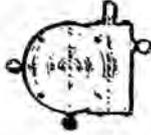
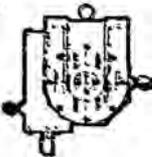
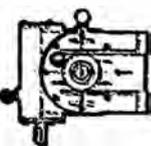
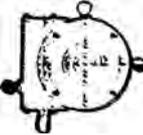
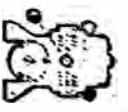
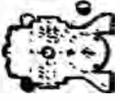
- Forma constructiva.
- Potencia.
- Factor de Servicio.
- Tensión y frecuencia de alimentación con sus variaciones.
- Revoluciones por minuto (en caso de motores con más de una velocidad, la potencia para cada una de ellas).
- Número de arranques por hora.
- Tipo de arranque (directo, estrella triángulo, auto-transformador, etc.).
- Tipo de acoplamiento: directo, por polea (plana o acanalada).
- Tipo de trabajo: continuo, intermitente, con alto par de arranque, elevado P.D., etc.
- Eventuales variantes de nuestra construcción normal.
- Accesorios especiales.
- Condiciones ambientales (altura de trabajo, temperatura ambiente, etc.).

En caso de pedidos especiales, nuestra División de Ingeniería puede dimensionar los motores para adecuarse a Normas distintas a las indicadas en este catálogo.

**MOTORES
ELECTRICOS
TRIFASICOS**
desde 0.3 HP
hasta 310 HP

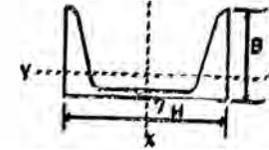


DELGROSA 
ENERGIA PARA EL PERU

Tipo L..A	Tipo L..B	Tipo L..V	Tipo L..F
B3 	B3 	B3 	B5 
V5 	V5 	V5 	B51 
B8 	B8 	B8 	B53 
V6 	V6 	V6 	B52 
B6 	B6 	B6 	V1 
B7 	B7 	B7 	V3 

NOTA - Es importante determinar correctamente las formas constructivas de los reductores para que la ubicación sea la mas adecuada.

CANALES VIGAS "U"



PERFIL	LB PESO kg		AREA		ALA - B-				ESPEJOR		EJE X - X						EJE X - X						
	H	XPIE	XTTM	DE SECCION		ANCHO		ESPEJOR		ALMA		I		S		R		I		S		R	
ILG	mm	Lbs	Kilos	pulg2	cm2	pulg	mm	pulg	mm	pulg	mm	pulg4	cm4	pulg3	cm3	pulg	cm	pulg4	cm4	pulg3	cm3	pulg	cm
3	76.2	4.1	6.1	1.19	7.7	1.41	35.8	273	6.93	0.17	4.3	1.6	66.6	1.1	17.5	1.17	2.97	0.2	6.32	0.21	3.44	0.41	1.04
3	76.2	5	7.44	1.46	9.4	1.5	38	273	6.93	0.25	6.5	1.8	74.9	1.2	19.7	1.12	2.87	0.25	10.4	0.24	3.93	0.41	1.04
4	101.6	5.4	8.04	1.56	10.1	1.56	40.13	276	7.52	0.18	4.57	3.6	156	1.9	31.1	1.56	3.96	0.32	13.3	0.29	4.75	0.45	1.14
4	101.6	7.25	10.79	2.12	13.7	1.72	43.69	293	7.52	0.32	8.13	4.5	187	2.3	37.7	1.47	3.73	0.44	16.3	0.35	5.74	0.45	1.17
5	127	6.7	9.97	1.95	12.8	1.75	44.45	320	8.13	0.19	4.83	7.4	308	3	49.2	1.95	4.95	0.48	20	0.38	6.23	0.5	1.27
5	127	9	13.39	2.83	17	1.865	47.66	320	8.13	0.325	8.26	8.3	366	3.5	57.4	1.83	4.65	0.54	26.6	0.45	7.37	0.49	1.24
6	152.4	8.2	12.2	2.59	15.4	1.92	48.8	343	8.71	0.2	5.08	13	541	4.3	70.5	2.34	5.94	0.7	29.1	0.5	8.19	0.54	1.37
8	152.4	10.5	15.82	3.07	19.8	2.034	51.7	343	8.71	0.314	8	15.1	629	5	82.4	2.22	5.64	0.87	36.19	0.57	9.34	0.53	1.34
7	177.8	9.8	14.6	2.85	18.4	2.09	53.1	366	9.3	0.21	5.33	21.1	678	6	96.3	2.72	6.91	0.98	40.6	0.63	10.3	0.59	1.5
8	203.2	11.5	17.1	3.36	21.7	2.26	57.4	390	9.91	0.22	5.59	32.3	1344	6.1	133	3.1	7.67	1.3	54.1	0.79	12.9	0.63	1.6
8	203.2	13.75	20.46	4.02	25.9	2.343	59.5	390	9.91	0.303	7.7	35.6	1490	9	147	2.99	7.59	1.5	62.4	0.86	14.06	0.62	1.57
10	254	15.3	22.6	4.47	25.8	2.6	66	436	11.1	0.24	6.1	66.9	2765	13.4	220	3.87	9.83	2.3	97.7	1.2	19.7	0.72	1.83
10	254	20	29.76	5.86	37.6	2.739	69.6	436	11.1	0.379	9.6	76.5	3267	15.7	256	3.86	9.29	2.6	116.5	1.3	21.3	0.7	1.76
12	304.8	20.7	30.6	6.03	38.9	2.94	74.7	501	12.7	0.28	7.11	126.1	5332	21.4	351	4.81	11.7	3.9	162	1.7	27.9	0.81	2.06
12	304.8	25	37.2	7.32	47.2	3.047	77.4	501	12.7	0.367	9.63	143.5	5972	23.8	382	4.43	11.26	4.5	167	1.9	31.1	0.79	2
15	381	33.9	50.1	9.9	63.9	3.4	86.4	550	14.3	0.4	10.2	312.6	13012	41.7	663	5.62	14.3	8.2	341	3.2	52.4	0.91	2.31
15	80	5.81	8.66	1.7	11	1.77	45	315	8	0.24	6	2.55	106	1.6	26.5	1.22	3.1	4.7	19.4	0.39	6.26	0.52	1.33
94	100	7.15	10	2.09	13.5	1.97	50	336	8.5	0.24	6	4.95	200	2.5	41.4	1.54	3.91	705	29.3	0.52	6.49	0.56	1.47

PESOS DE PLATINAS EN Kg/Mc

ANCHO	ESPESOR										
	1/8"	3/16"	1/4"	5/16"	3/8"	1/2"	5/8"	3/4"	1"	1 1/2"	2"
3/8"	246										
1/2"	328	476	640								
5/8"	394	607	804								
3/4"	476	738	951	1.23							
7/8"		830									
1"	640	984	1.28		1.919	2.543					
1 1/4"	804	1.23	1.608		2.379						
1 1/2"	968	1.558	1.919	2.444	2.871	3.839	4.806	5.741			
1 3/4"	1.098	1.659	2.213								
2"	1.28	1.903	2.543	3.199	3.822	5.085	6.365				
2 1/2"	1.591	2.379	3.182		4.774	6.348	7.956	9.547			
3"	1.919	2.887	3.806		5.741	7.628	9.514	11.483	15.256		
3 1/2"								13.396			
4"	2.543		5.085	6.398	7.628	10.17		15.256	20.341		
5"			6.365		9.514	12.73			25.426		
6"			7.628		11.45	15.256		22.884	30.511	45.768	61.02

PESOS DE ANGULOS DE ALAS IGUALES EN KG/ML

ALAS	ESPESOR											
	1/8"	3/16"	1/4"	5/16"	3/8"	1/2"	5/8"	3/4"				
1/2" X 1/2"	574											
5/8" X 5/8"	722											
3/4" X 3/4"	902											
1" X 1"	1.797	1.755	2.231									
1 1/4" X 1 1/4"	1.509	2.231	2.871									
1 1/2" X 1 1/2"	1.886	2.707	3.527	4.26								
1 3/4" X 1 3/4"	2.143	3.155	4.122									
2" X 2"	2.461	3.658	4.757	5.905	7.037							
2 1/2" X 2 1/2"		4.593	6.119	7.464	8.842	11.565						
3" X 3"			7.349	9.137	10.75	14.03						
3 1/2" X 3 1/2"			8.69	10.95	12.719	16.65						
4" X 4"			9.842	12.27	14.6	19.111	23.392	27.559				
5" X 5"					18.372	24.193						
6" X 6"					22.227	24.199	30.089	42.814				
		PESOS EN Kg/m DE PLATINAS Y ANGULOS DE ALAS IGUALES										

TABLA 5-1

EMISIVIDADES DE VARIAS SUPERFICIES

MATERIAL	Longitud de onda y temperatura promedio				
	9.3 μ 100°F	5.4 μ 500°F	3.6 μ 1,000°F	1.8 μ 2,500°F	0.6 μ Solar
Materiales:					
Aluminio					
Pulido.....	0.04	0.05	0.08	0.19	-0.3
Oxidado.....	0.11	0.12	0.18		
24-ST intemperizado.....	0.4	0.32	0.27		
Superficie para techado.....	0.22				
Anodinado (a 1,000° F).....	0.94	0.42	0.60	0.34	
Bronce					
Pulido.....	0.10	0.10			
Oxidado.....	0.61				
Cromo					
Pulido.....	0.08	0.17	0.26	0.40	0.49
Cobre					
Pulido.....	0.04	0.05	0.18	0.17	
Oxidado.....	0.87	0.83	0.77		
Fierro					
Pulido.....	0.06	0.08	0.13	0.25	0.45
Fundición, oxidado.....	0.63	0.66	0.76		
Galvanizado, nuevo.....	0.23	.....	.....	0.42	0.66
Galvanizado sucio.....	0.28	.....	.....	0.90	0.89
Acero en placa, rugosa.....	0.94	0.97	0.98		
Oxido.....	0.96	.....	0.85	.....	0.74
Fundido.....	.....	.....	.....	0.3-0.4	
Magnesio.....	0.07	0.13	0.18	0.24	0.30
Molibdeno en filamento.....	.....	.....	-0.09	-0.15	-0.2*
Plata					
Pulida.....	0.01	0.02	0.03	.....	0.11
Acero inoxidable.....					
18-8, pulido.....	0.15	0.18	0.22		
18-8, intemperizado.....	0.85	0.85	0.85		
Tubo de acero					
Oxidado.....	.....	0.80			
Tungsteno en filamento.....	0.03	.....	.....	-0.18	0.35+
Zinc					
Pulido.....	0.02	0.03	0.04	0.06	0.46
Placa galvanizada.....	-0.25				
Materiales de construcción y asistentes					
Hojas de asbesto.....	0.93	0.93			
Asfalto.....	0.93	.....	0.9	.....	0.95
Vidrio.....	0.90	.....	.....	.....	(Bajo)
°A 5, 000° F.					
+ A 6,00° F.					

TABLA 5-1 (Conclusión)

MATERIAL	LONGITUD DE ONDA Y TEMPERATURA PROMEDIO				
	9.3 μ 100° F	5.4 μ 500° F	3.6 μ 1,000° F	1.5 μ 2,500° F	0.6 μ Solar
Ladrillo					
Rojo	0,93	.....	.....	.....	0,7
Refractario	0,9	.....	≈0,7	≈0,75	
De Alice	0,9	.....	≈0,75	0,84	
Refractario de Magnesita	0,9	.....	.....	≈0,4	
Esmalte, blanco	0,9				
Mármol, Blanco	0,95	.....	0,93	.....	0,47
Papel, Blanco	0,95	.....	0,82	0,25	0,28
Yeso	0,91				
Techo de Tejamanil	0,93				
Acero Esmaltado, Blanco	.....	.....	.....	0,65	0,47
Asbesto- Cemento, rojo	.....	.....	.....	0,67	0,66
Pinturas					
Laca aluminizada	0,65	0,65			
Pinturas lechosas	0,95	0,88	0,70	0,42	0,35
Laca negra	0,96	0,98			
Pintura de negro Humo	0,96	0,97	.....	0,97	0,97
Pintura roja	0,96	.....	.....	.....	0,74
Pintura amarilla	0,95	.....	0,5	.....	0,30
Pinturas de aceite (todos los colores)	≈0,94	≈0,9			
Oxido de zinc, blanco (ZnO)	0,95	.....	0,91	.....	0,18
Otros					
Hielo	≈0,97 \mp				
Agua	≈0,96				
Carbón					
T-Carbón, 0,9%	0,82	0,80	0,79		
Filamento	≈0,72	.....	.....	0,53	
Madera	≈0,93				
Vidrio	0,90	.....	.....	.....	(Bajo)

\mp A 32° F

Fuente: Refs, 11, 15-18

K 340
AMUTIT 8

Tipo de aleación: C 0,95 Si 0,3 Cr 0,5 V 0,12 W 0,8 Mn 1,1 %
 Color de identificación: Rojo - Azul
 Estado de suministro: Recocido: 850 - 750 N/mm²
 (Brinell: 191 - 219 HB)

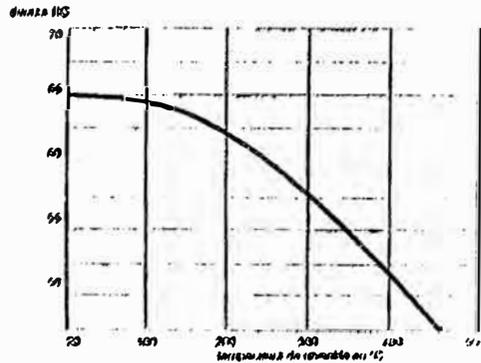
Acero especial, aleado, de temple parejo y seguro con poca variación de medidas, excelente conservación de filo, buena resistencia al desgaste y magnífica tenacidad. Fácilmente maquinable.

APLICACIONES: Especialmente para dispositivos de roscar como también para punzones y cizallas para chapa delgada, herramientas para labrar madera. Matrices de corte con exigencias normales; guías y plies para matricería.

Cuchillas para cortar papel, tabaco o similares naturales delgados. Herramientas de medición, p. ej. calibre de rosca, etc. Moldes para plástico y resinas sintéticas.

INSTRUCCIONES PARA EL TRATAMIENTO

Forjado:	1050 - 850 °C
Recocido:	710 - 750 °C
Enfriamiento lento en el horno	
Temple:	780 - 820 °C
En	200 - 250 °C o aceite
Dureza	61 - 63 Rc
Revenido:	100 - 400 °C



BOILER

K 340
IMPACT EXTRA

Tipo de aleación %: C 1,1 Si 0,9 Mn 0,4 Cr 0,3 Mo 2,1 V 0,5 + Al Nb
 Color de identificación: Amarillo - Lila
 Estado de suministro: Recocido: 250 HB

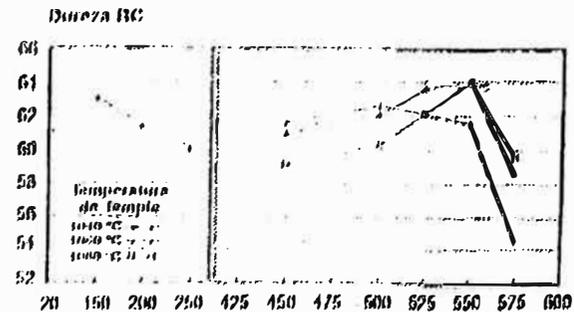
Acero para trabajo en filo con poca variación de medida en el tratamiento térmico. Poso alta tenacidad con muy buena resistencia a la compresión y alta resistencia al desgaste. De muy buena resistencia al revenido. Oportuna aplicación para el electroaleado y para la nitruación.

APLICACIONES: Punzones, matrices para corte y troquelado. Matrices para conformado en frío para embudo, embudo profundo, extrusión y cuñas para monedas, medallas. Rodillos para laminado de roscas. Cuchillas para guillotina, instrumentos de medición. Cuchillas para la industria nuclear.

INSTRUCCIONES PARA EL TRATAMIENTO TERMICO

Forjado:	1050 - 850 °C
Recocido:	800 - 850 °C (Enfriamiento en horno)
Distensionado:	650 °C (Enfriamiento en horno)
Templar:	1040 - 1080 °C
(Enfriamiento en aire, aceite o baño de sales)	
Dureza Obtenible	61 - 63 HRC
Revenido:	Según diagrama

DIAGRAMA DE REVENIDO



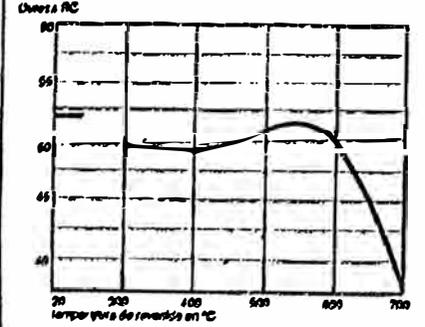
W 320
WIND
X511-1118
DIM 230 El M. 123
W. H. L. 203

Tipo de aleación: C 0.31 Cr 2.9 Mn 2.8 V 0.5 %
 Color de identificación: Naranja - Pintado
 Estado de suministro: Recocido 70 - 88 Kp/mm²
 (Brinell; 200 - 240 HB)

Acero especial para trabajar en caliente, que debido a las proporciones favorables de sus componentes, tiene varias aplicaciones. Este acero tiene buena conductabilidad térmica y por consiguiente alta resistencia a las fisuras por recalentamiento brusco. Admite refrigeración con agua.

APLICACIONES: Para herramientas de forjar y estampar pernos, remaches, tuercas, etc. Herramientas de extrusión de tubos y perfiles en metales no ferrosos, especialmente punzones, mandriles, espigas refrigeradas por agua, camisas de recipiente, disco de extrusión. Herramientas para la inyección de metales pesados. Herramientas para estampar latón y bronce en caliente.

INDICACIONES PARA EL TRATAMIENTO TERMICO:
 Forjado: 1100 - 900 °C
 Recocido: 750 - 800 °C
 Enfriamiento lento en el horno
 Temple: 1020 - 1050 °C
 Enfriamiento: en aceite, baño de sal de
 Dureza obtenible: al aceite 52 - 56 Rc
 Revenido: 550 - 650 °C
 Nitruración: En baño de sal 550 °C



Duración del revenido:
 2 horas;
 Sección de la probeta
 (1) 50 mm

RECOMENDACIONES PARA EL TORNEADO CON PASTILLAS SOLDADAS

Estado	Vel. de corte m/min	Avance mm/rev	Caudal de corte mm ³ /min	ad	Velocidad de corte m/min
Recocido	1 a 4	0.1 a 0.3	50 a 1000	1	200 a 150
	2 a 8	0.2 a 0.6	50 a 2000	1	170 a 110
Temple	1 a 3	0.2 a 0.4	100 a 1000	1	200 a 150

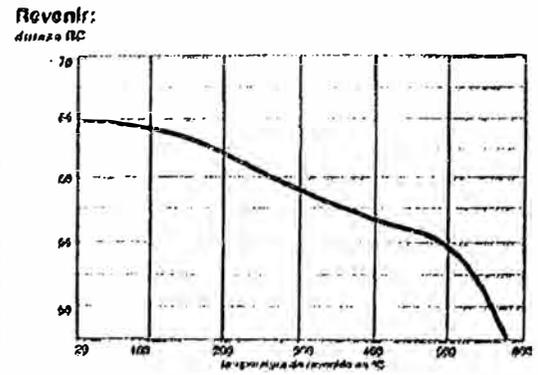
BOHLER
K 100
ESPECIAL K

Tipo de aleación: C 2.00 máx Si 0.20 Mn 0.3 Cr 12.0 %
 Color de identificación: Amarillo - Blanco
 Estado de suministro: Recocido 250 HB máx.

Marca standard de los aceros ledeburíticos al 12% de cromo para herramientas de corte y estampado de alto rendimiento.

APLICACIONES: Máquinas cortantes de alto rendimiento hasta espesores de 8 mm., rasquetas, cuchillos para guillotinas para cortar espesores hasta 4 mm., herramientas para robarinar, rodillos y peinos para roscar, bordar, acanalur y moletar. Estampas y cuños para embullir en frío. Ondos para trillar metales no ferrosos. Placas moldes y cuños para la elaboración de materiales cerámicos muy abrasivos. Herramientas para prensa en la industria farmacéutica.

INSTRUCCIONES PARA EL TRATAMIENTO
 Forjar: 1050 - 850 °C
 Recocer: (Enfriamiento lento en horno) 800 - 850 °C
 Templar: (Aceite, baño isotérmico 220 - 250 °C; 400 - 450 °C)
 Dureza Obtenible 63 - 65 Rc



Duración del revenido: 1 hora
 Sección de la probeta
 (1) 20 mm

RECOMENDACIONES TECNICAS

ACEROS PARA HERRAMIENTAS

Aceros rápidos:

Super Rapid

Aceros para trabajo en caliente

US ULTRA 2

WMD

Aceros indeformables para matricería:

Especial K

Amulit'S

Aceros para impacto:

Impact Extra

Aceros para moldes plásticos:

Starmold

Moldinox

ACEROS PARA MAQUINAS Y REPUESTOS

Aceros para cementación:

ECM

ECI

Transmisión

Aceros (Nitrificados):

VCM

VCL

Aceros al carbono:

II

Barra perforada para cementación:

BP 280

Aceros antiabrasivos:

Chronit T - I

Chronos

ACEROS INOXIDABLES

Aceros inoxidables templables

Anilnit KWB

Aceros inoxidables austeníticos

Anilnit 316 L

Anilnit 304 L

ACEROS REFRACTARIOS

Antitecno FFB

METAL DURO BOHLERIT

TABLAS

Equivalencia de durezas

Conversión pulgadas/mm

Pesos de barras

Pesos de platinas



4 S 600

5 W 302

6 W 320

7 K 100

8 K 160

9 K 340

10 M 238

11 M 300

12 E 230

13 E 115

14 E 920

15 V 155

16 V 320

17 V 945

18

19

20 K 700

21 N 350

22 A 200

23 A 604

24 H 525

25

26

27

27

28

RECOMENDACIONES TECNICAS:

Todo acero tiene características de acuerdo a su aleación; y es aconsejable, en caso de duda, consultar a nuestro Departamento Técnico, servicio que hacemos en forma gratuita.

El mal maquinado de un acero especial puede originar fisuras y roturas en el tratamiento térmico, o durante su uso.

SOBREMEDIDA: En los aceros especiales laminados en caliente debe considerarse una sobremedida para eliminar la cascara; la zona desorientada y eventualmente microfisuras.

TABLA DE SOBREMEDIDAS

MEDIDA ACABADA L.M.M.M. Ø	hasta	desde	25	40	63	80	100	125	160	200	250
	15	25	40	63	80	100	125	160	200	250	
CONQUE L.M.M.M. L.M.M.M.	2	2.5	3	4	5	6	7	8	10	12	

Un seguro tratamiento térmico depende de la correcta aplicación de la sobremedida, los ángulos redondeados y la relación balanceada de la masa.

SUPERFICIE: El acabado debe ser lo más liso posible, una superficie solamente desbastada baja la resistencia a la fatiga en un 23%.

TODO TIPO de maquinado de maquinado, así como los cambios de diámetro en ángulo vivo originan tensiones en el acero y peligro de rotura.

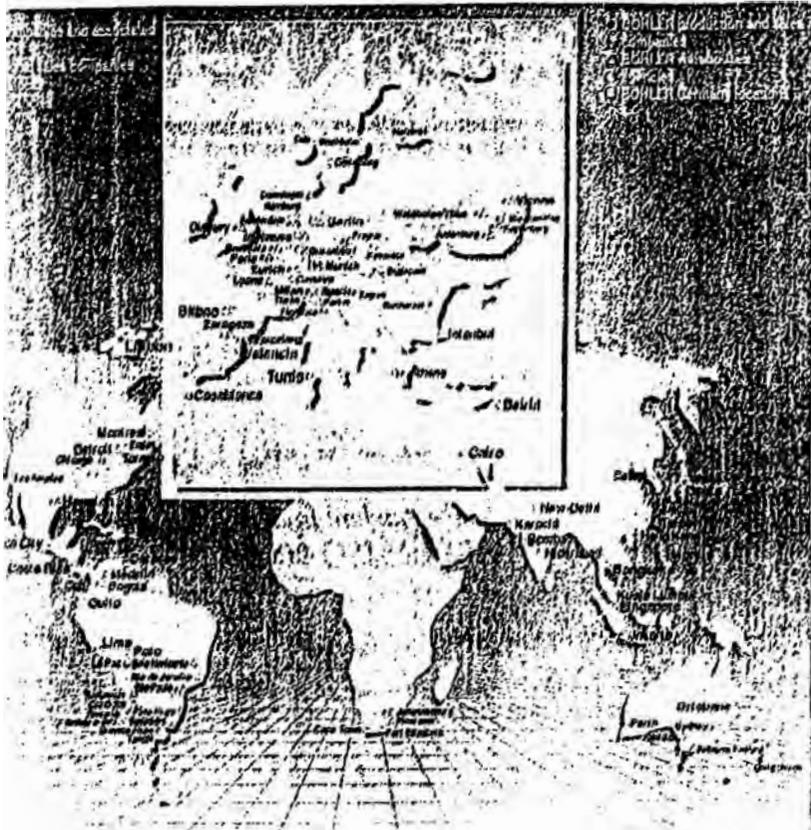
Los ejes sometidos a torsión tienen como punto débil las perforaciones para lubricación y los canales para claveta, que pueden generar roturas por fatiga.

Las platinas deben ser maquinadas en ambas caras por igual para evitar torceduras en el tratamiento térmico.

En los aceros aleados para la fabricación de herramientas, debe tomarse en cuenta la fibra; ejemplo: Punzones fibra longitudinal, sufrideras fibra horizontal. (Comparar la fibra del acero con la fibra de la madera.)

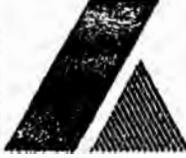
UN ACERO RESPONDE DE ACUERDO A LA BONDAD DE SU TRATAMIENTO TÉRMICO

BÖHLER UDDEHOLM



one of the world's largest operations
 The network of BÖHLER's sales
 branches covers all

Being by 26 subsidiaries and affiliated companies, 75 international sales companies, 51 service stores in the continental areas of industrial interest as well as approximately 100 agencies, BÖHLER is in a position to maintain close customer contacts and guarantee delivery just in time.



BÖHLER



ACEROS ESPECIALES, para herramientas, maquinarias y repuestos. Aceros inoxidables, antilámicos, antiabrasivos y con propiedades físicas especiales en forma de: Barras, planchas, barras perforadas, alambres, flejes, piezas forjadas y fundidas.



HERRAMIENTAS de acero rápido y metal duro BÖHLERIT

CUCHILLAS Y SIERRAS para máquinas de la industria metal mecánica, celulosa, papel y madera.



FLEJES SACABOCADOS Y REGLAS para trabajar cuero, textiles, papel y cartón.



ELECTRODOS, alambres y polvos especiales para soldadura eléctrica, autógena y de arco sumergido.



HERRAMIENTAS NEUMATICAS Y BARRENOS ROCBO para minería, metal mecánica y construcción civil.



OILFIELD EQUIPMENT Y BOMBAS DE SUBSUELO y accesorios para la industria petrolera.



HORNOS para tratamientos térmicos y termoquímicos en baños de sales y de cámara, con atmósfera controlada y al vacío.

SALES DUFERRIT para cementación, carbonitruración, nitruración baños inerciales de templado y revenido y para intercambiadores de calor.



MAQUINAS HERRAMIENTA Y DE PRODUCCION para metales y plásticos.

**AMPLIO STOCK
 PEDIDOS DIRECTOS
 SERVICIO TECNICO
 TRATAMIENTOS TERMICOS**

Capítulo 10 Radiación.

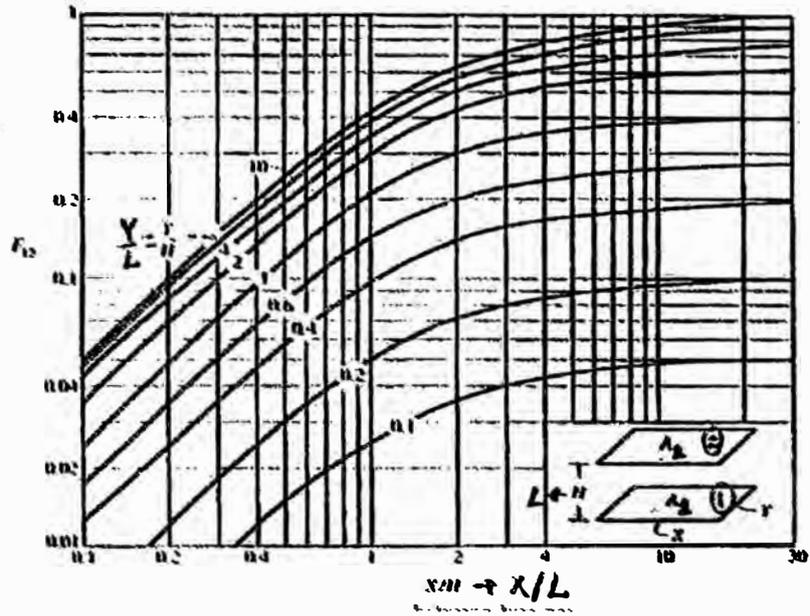


Fig. 10.11 Factor de vista geométrica entre dos rectángulos paralelos

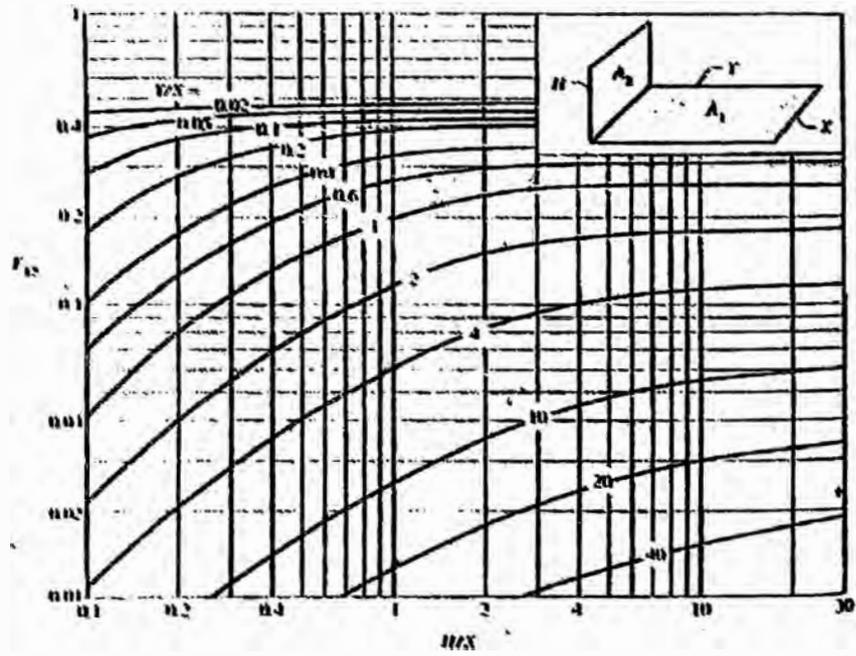


Fig. 10.12 Factor de vista geométrica, entre dos rectángulos perpendiculares con un borde común.

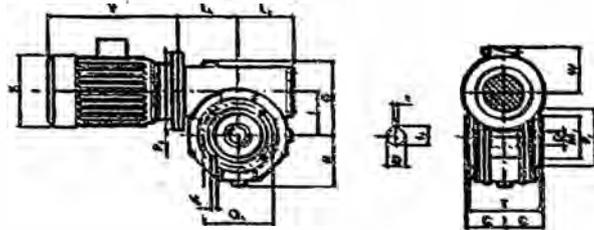
TABLA B-2 Propiedades de los no metales

Sustancia	T °F	°C	Cp Btu/lb-°F	p lbm/pie3	k Btu/lb-°F	a pie2/h
Estructurales						
Asfalto	68	20	0.38	79.5	0.43	0.0044
Baquelita	68	20			0.134	
Ladrillos						
corrientes	68	20	0.2	100	0.4	0.02
de fachada	68	20		128	0.76	
de caborundo	1110	600			10.7	
	2550	1400			6.4	
	392	200			1.34	0.036
Ceramicos	1022	550	0.2	188	1.43	0.038
	1652	900			1.15	0.031
de tierra diatomacea	400	205			0.14	
(refractarios)	1600	870			0.18	
de arcilla refractaria	932	500			0.6	0.02
(cocidos a 2426°F	1472	800	0.23	128	0.62	0.021
1330°C	2012	1100			0.63	0.021
de arcilla refractaria	932	500			0.74	0.022
(Missouri)	1112	800	0.23	145	0.79	0.024
	2552	1100			0.81	0.024
Magnesira	400	205			2.2	
	1200	650	0.27		1.6	
	2200	1205			1.1	
Cemento Portland				94	0.17	
Cemento mortera	75	24			0.67	
Concreto	68	20	0.21	119-144	0.47-0.81	0.019-0.027
Concreto de escorias	75	24			0.44	
Vidrio de borosilicato	68	20	0.2	169	0.44	0.013
Yeso de enlucir	86	30		139	0.63	
Listonado metalico para						
enlucido	70	21		90	0.28	0.016
Listones de madera para	70	21				
Piedra						
Granito			0.195	165	1.0-2.3	0.031-0.071
Piedra Caliza	246-570	100-300	0.217	155	0.73-0.77	0.022-0.023
Marmol	68	20	0.193	156-169	1.6	0.054
Piedra arenisca	68	20	0.17	135-144	0.94-1.2	0.041-0.049
Unidades SI			j/kg-K	kg/m3	W/m-k	m2/s
Para convertir a unidades						
SI multiplicar			4.184	1.601846	1.729577	2.5064
los valores tabulados por			x103	x104		x10-3

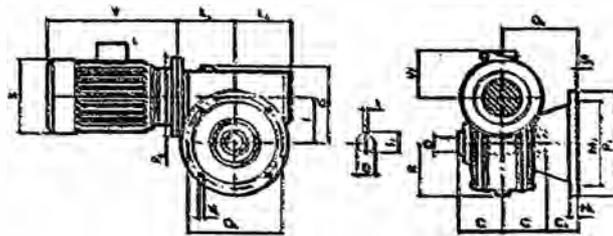
Tabla B – 1 Propiedades de los Metales

Material	K, Btu/hr- pie-°F				Cp Btu/lb-°F	p Btu/lb-pie ³	a pie ³ /hr
	32°F 0°C	212°F 100°C	572°F 300°C	932°F 500°C	32°F 0°C	32°F 0°C	32°F 0°C
Minerales puros							
Aluminio	117	119	133	156	0.208	169	3.33
Cobre	224	218	212	207	0.091	558	4.42
Oro	169	170	...	...	0.030	1203	4.68
Hierro	35.8	36.6	...	...	0.104	491	0.70
Plomo	20.1	19	18	...	0.030	705	0.95
Magnesio	91	92	...	...	0.232	109	3.60
Molideno	72	68	64	62	0.060	638	1.88
Niquel	54	48	37	...	0.106	556	0.92
Plata	241	240	...	...	0.056	655	6.57
Estaño	38	34	...	...	0.054	456	1.54
Zinc	65.1	63	58	...	0.091	446	1.60
Aleaciones							
Metal « asmiraity »	65	64					
Laton 70% Cu y							
30% Zn	61.5	74	85	...	0.092	532	1.26
Bronce 75% Cu							
25% Sn	15	...	...	...	0.082	541	0.34
Hierro fundido, puro	33	31.8	27.7	24.8	0.11	474	0.63
Aleado	30	28.3	27	...	0.10	455	0.66
Constantan 60% Cu							
40% Ni	12.4	12.8	...	...	0.10	557	0.22
Acero Inoxidable 18-8							
Tipo 304	8.0	9.4	10.9	12.4	0.11	488	0.15
Tipo 347	8.0	9.3	11	12.8	0.11	488	0.15
Acero dulce 10% C	26.5	26	25	22	0.11	4902	0.49
Unidades SI	W / in-°K				J/Kg-K	Kg/m³	m³/s
Para convertir a Unidades SI multiplicar los valores tabulados por	1.729577				4.184 x10 ⁴	1.601846 x10 ⁴	2.580640 x10 ³

MI...FP



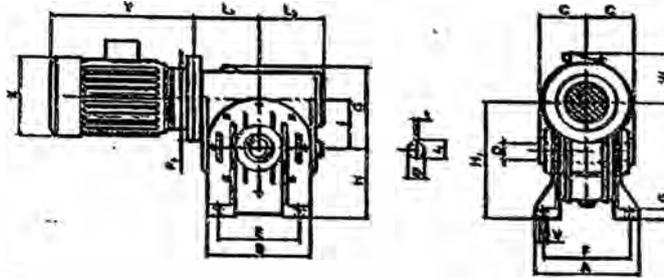
MI...F



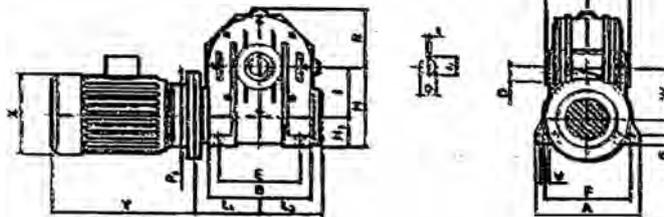
Tipo	C ₁	M ₁ H7	M ₄ H7	N ₁	O ₁	P ₁	P ₄	Q ₁	Q ₂	S ₁	V ₁	V ₄	T
MI 40	11	95	50	11	32	140	96	115	65	4	9	M6	77
MI 50	43	110	60	11	92	160	88	130	75	4	10	M6	93
MI 60	42	130	70	12	102	200	105	165	85	4	11	M8	115
MI 70	51	130	80	12	111.5	200	115	165	100	5	11	M8	114
MI 80	50	130	110	13	120	200	145	165	130	5	11.5	M10	133
MI 90	52	160	110	14	127	250	160	215	130	5	14	M10	143
MI 110	72.5	160	130	18	150	250	200	215	165	5	15	M12	148
MI 130	55	230	180	18	150	300	240	265	215	5	15	M12	172

P₂, X e Y: conforme tabela de motores.

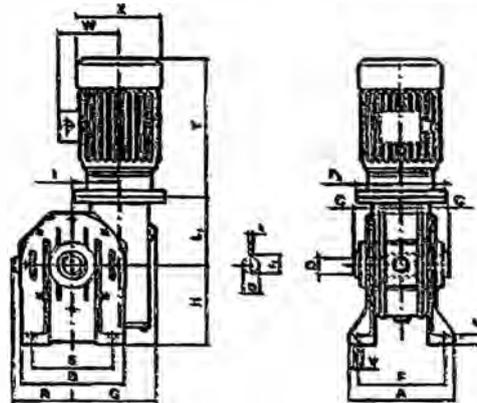
MI...A



MI...B



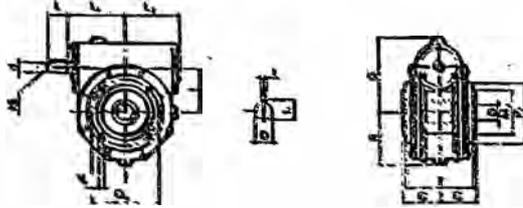
MI...V



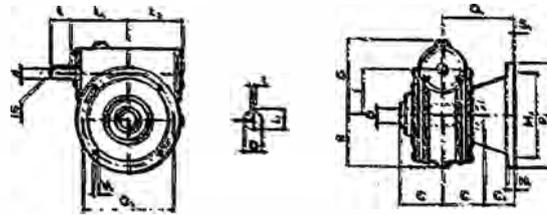
Tipo	A	B	E	F	S	V	G	H	H ₁	H ₂	I	L ₁	L ₂	R	C	D _{H7}	t	t ₁
MI 40	100	96	70	84	8	7	66	71	111	31	40	70	57	48	41	19	6	21,8
MI 50	114	112	85	96	10	9	80	85	135	35	50	81	67	56	49	24	8	27,3
MI 60	137	140	95	111	12	11	94	100	160	40	60	96	80	75	60	25	8	26,3
MI 70	141	156	120	115	12	11	106	115	185	45	70	97	86	81	60,5	28	8	31,3
MI 80	181	180	140	147	13	11	127	142	222	62	80	108	105	95	70	35	10	38,3
MI 90	198	210	160	164	15	13	139	150	240	60	90	128	124	111	75	38	10	41,3
MI 110	190	250	200	160	18	13	170	172	282	62	110	149	144	141	77,5	42	12	45,3
MI 130	225	280	240	190	18	15	194	200	330	70	130	165	160	155	85	48	14	51,8

P₁, X e Y: conforme tabela de motores.

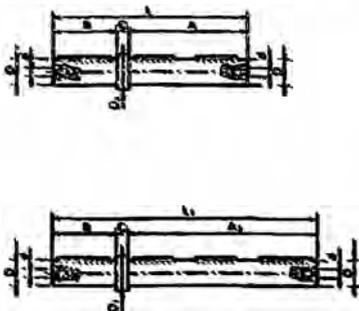
I...FP



I...F

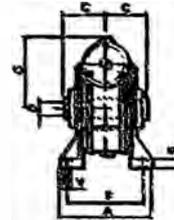
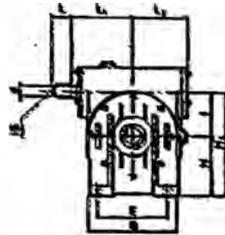


Tipo	C ₁	M1 H7	N ₁	O ₁	P ₁	Q ₁	S ₁	V ₁	Q ₂	V ₄	P ₄	M ₂	T
I 140	41	85	11	82	140	115	4	9	65	M6	96	50	77
I 150	43	110	11	92	160	130	4	10	75	M6	80	60	93
I 160	42	130	12	102	200	165	4	11	85	M8	105	70	115
I 170	51	130	12	111,5	200	165	5	11	100	M8	115	80	114
I 180	50	130	13	120	200	165	5	11,5	130	M10	145	110	133
I 190	52	160	14	127	250	215	5	14	130	M10	160	110	143
I 110	72,5	180	10	150	250	215	5	15	165	M12	200	132	148
I 130	55	230	10	150	300	265	5	15	215	M12	240	180	172

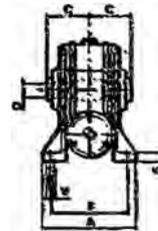
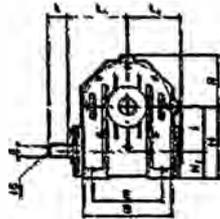


Tipo	A	B	D h7	D ₁	d	L	L ₁
I 140	80	40	19	22	M8	130	182
I 150	97	50	21	28	M8	157	218
I 160	110	60	25	28	M8	183	250
I 170	120	60	28	34	M8	190	261
I 180	138	60	35	38	M8	203	270
I 190	149	80	38	44	M10	245	342
I 110	154	110	42	48	M10	280	407
I 130	188	110	48	53	M10	314	442

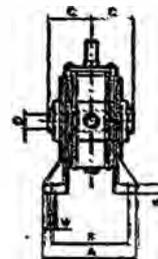
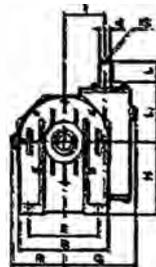
I...A



I...B



I...V



Tipo	A	B	E	F	S	V	d ₂₅	G	H	H ₁	H ₂	I	Is	L	L ₁	L ₂	R	C	D _{m27}	t	t ₁
I 140	100	96	70	84	8	7	11	66	71	111	31	40	M4	23	63,2	57	48	41	19	6	21,0
I 150	114	112	85	96	10	8	14	60	85	135	35	50	M5	30	73	67	56	49	24	8	27,3
I 160	137	140	95	111	12	11	19	94	100	160	40	60	M6	40	86	80	75	60	25	8	28,3
I 170	141	156	120	115	12	11	19	106	115	185	45	70	M6	40	86,8	86	81	60,5	28	8	31,3
I 180	151	180	140	147	13	11	24	127	142	232	62	80	M8	50	110	105	95	70	35	10	36,3
I 190	198	210	160	164	15	13	24	139	150	240	60	90	M8	50	126	124	111	75	38	10	41,3
I 110	190	250	200	160	18	13	26	170	172	262	62	110	M8	60	148	144	141	77,5	42	12	45,3
I 130	225	280	240	190	18	13	38	194	200	330	70	130	M10	80	167	160	155	95	48	14	51,8

REDUCTORES TORNILLO SIN FIN

REDUC CION	RPM Entr.	RPM Salida	Potencia	Tipo							
			Torque	140	150	160	170	180	190	1110	1130
7.5:1	1700	226,6	HP	1,04	1,97	3,79	5,54	6,9	8,52	14,7	23,9
			Kg.m	2,8	5,3	10,4	15,3	17,87	23,15	40,42	66,47
10:1		170	HP	0,82	1,66	2,64	4,6	4,44	6	12,5	20,52
			Kg.m	2,9	5,8	9,5	16,5	15,71	21,23	45,28	74,34
15:1		113	HP	0,64	1,3	2,41	3,42	4,44	6,12	10,4	15,6
			Kg.m	3,2	6,6	12,4	18	23,07	32,19	57,71	83,05
20:1		85	HP	0,59	0,89	1,6	2,32	3,12	4,44	6,6	10,8
			Kg.m	3,8	5,8	10,9	15,5	20,77	30,3	43,93	74,61
25:1		68	HP	0,46	0,82	1,5	1,92	2,52	3,48	5,7	8,64
			Kg.m	3,6	5,7	12,2	16,1	20,43	29,68	48,02	71,89
30:1		56,6	HP	0,47	0,82	1,54	1,97	2,88	3,72	6,6	9,6
			Kg.m	4,1	7,3	13,9	19,2	26,6	35	65,14	92,32
40:1	42,5	HP	0,37	0,63	1,08	1,45	2,16	2,76	4,8	7,08	
		Kg.m	4	6,4	12,8	17,5	24,38	30	60,66	85,9	
50:1	34	HP	0,31	0,5	0,82	1,27	1,56	2,16	3,86	6	
		Kg.m	4	6,2	11,5	18	22	32	57,56	80	
60:1	28	HP	0,25	0,42	0,67	1,03	1,32	1,8	3	4,56	
		Kg.m	3,9	5,9	10,6	16,5	20	30,84	53,71	79,31	
80:1	21	HP	0,18	0,32	0,54	0,79	1,02	1,32	2,16	3,48	
		Kg.m	3	5,6	10,3	12,8	12,08	25,21	45,67	68,83	
100:1	17	HP	0,14	0,27	0,42	0,65	0,83	1,02	1,68	2,76	
		Kg.m	2,8	5,2	9,1	12,3	17,2	24	40	52	
Peso			Kg	3	4	9	11	17	22	29	45

ESPECIFICACION TECNICA

Todos los tornillos sin fin y las coronas helicoidales tienen perfil envolvente "ZI", que garantiza un rendimiento muy elevado a nuestros reductores, con pequeñas pérdidas causadas por la fricción interna.

Los tornillos sin fin son construídos en acero 20 Mn Cr 5, luego reciben un tratamiento térmico de cementado con una dureza superficial HCR-60, y finalmente son rectificadas.

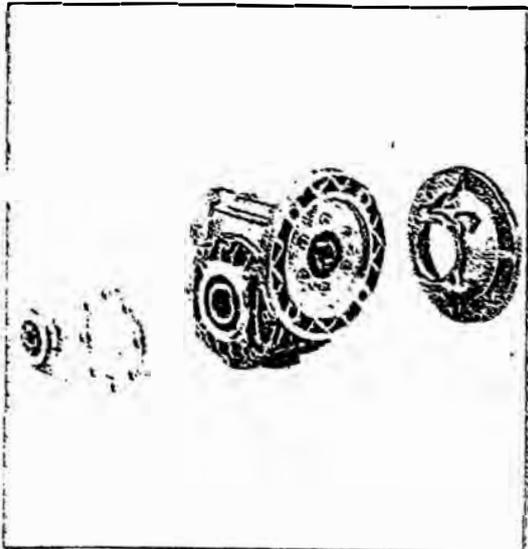
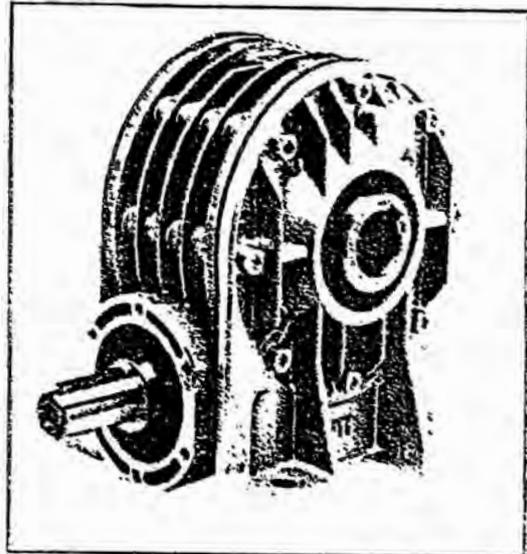
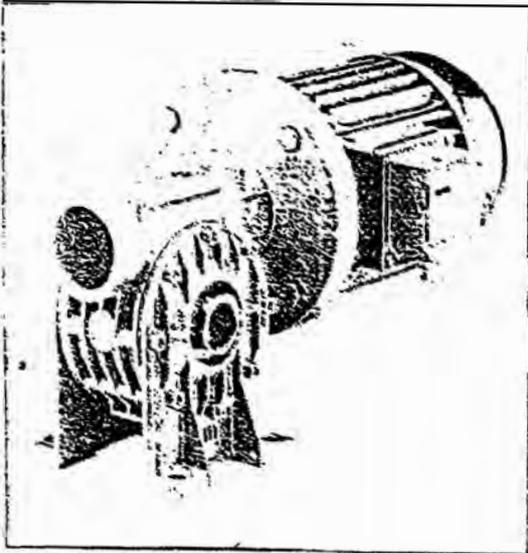
Las coronas helicoidales son construídas en bronce B-14 centrífugado, los dientes son fresados en maquinas especiales automáticas con también herramientas especiales de clase "A" segun DIN 3968.

Los tornillos sin fin utilizan rodamientos cónicos, que mejoran el rendimiento, dan una mejor resistencia a las cargas radiales y axiales, y reducen el ruido.

Los reductores son calculados para una vida útil mínima de 10.000 horas de trabajo efectivo.

La lubricación con aceite sintético de alta viscosidad, le da vida permanente al equipo.

Las carcasas de los reductores desde el tamaño I40 hasta el I80, son construídas en aluminio inyectado a alta presión, con diseño muy moderno. Los tamaños mayores son en fierro fundido.

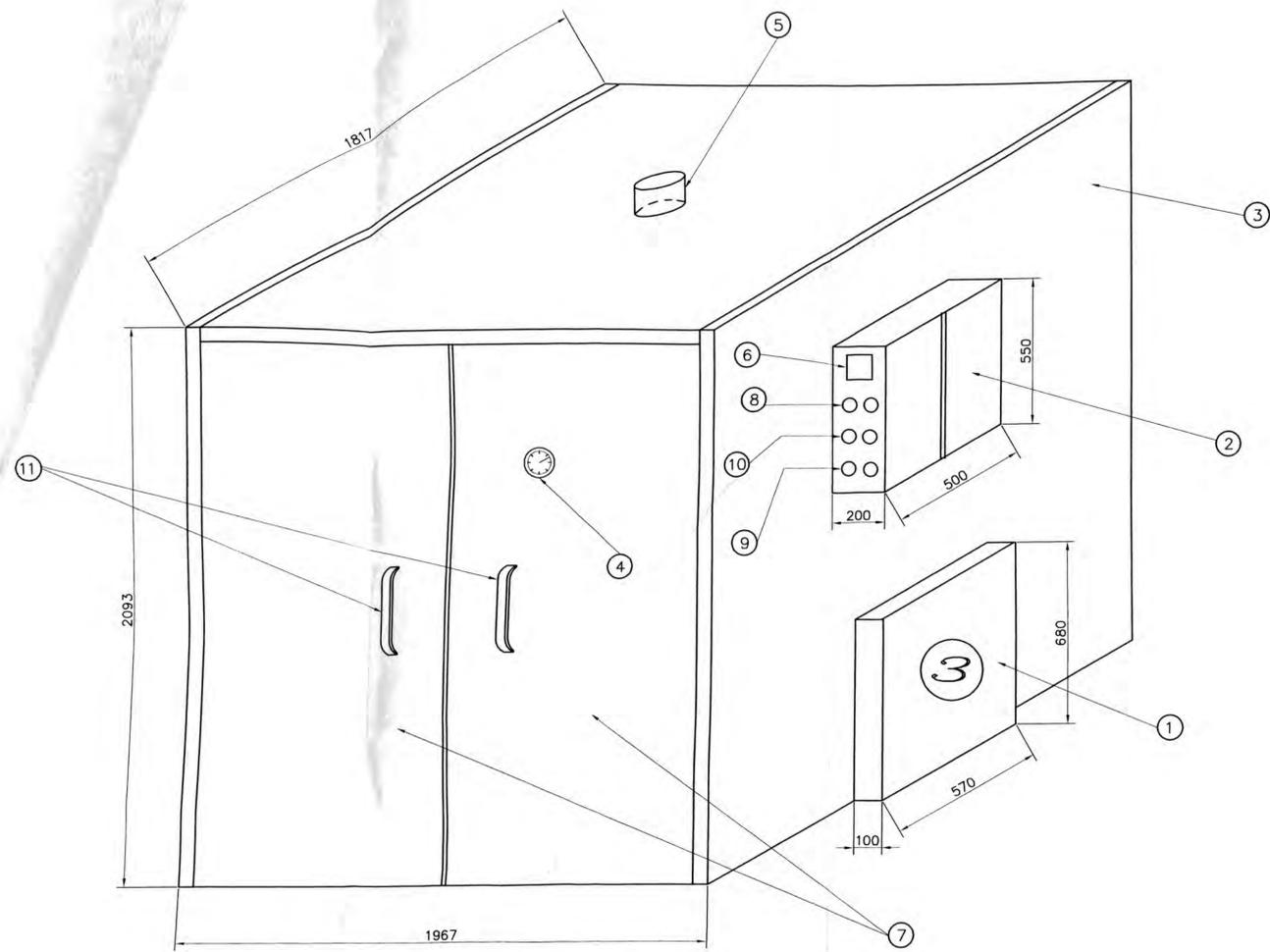


Tornillo sin fin.

**Reductores y
motoreductores de
perfil envolvente.**

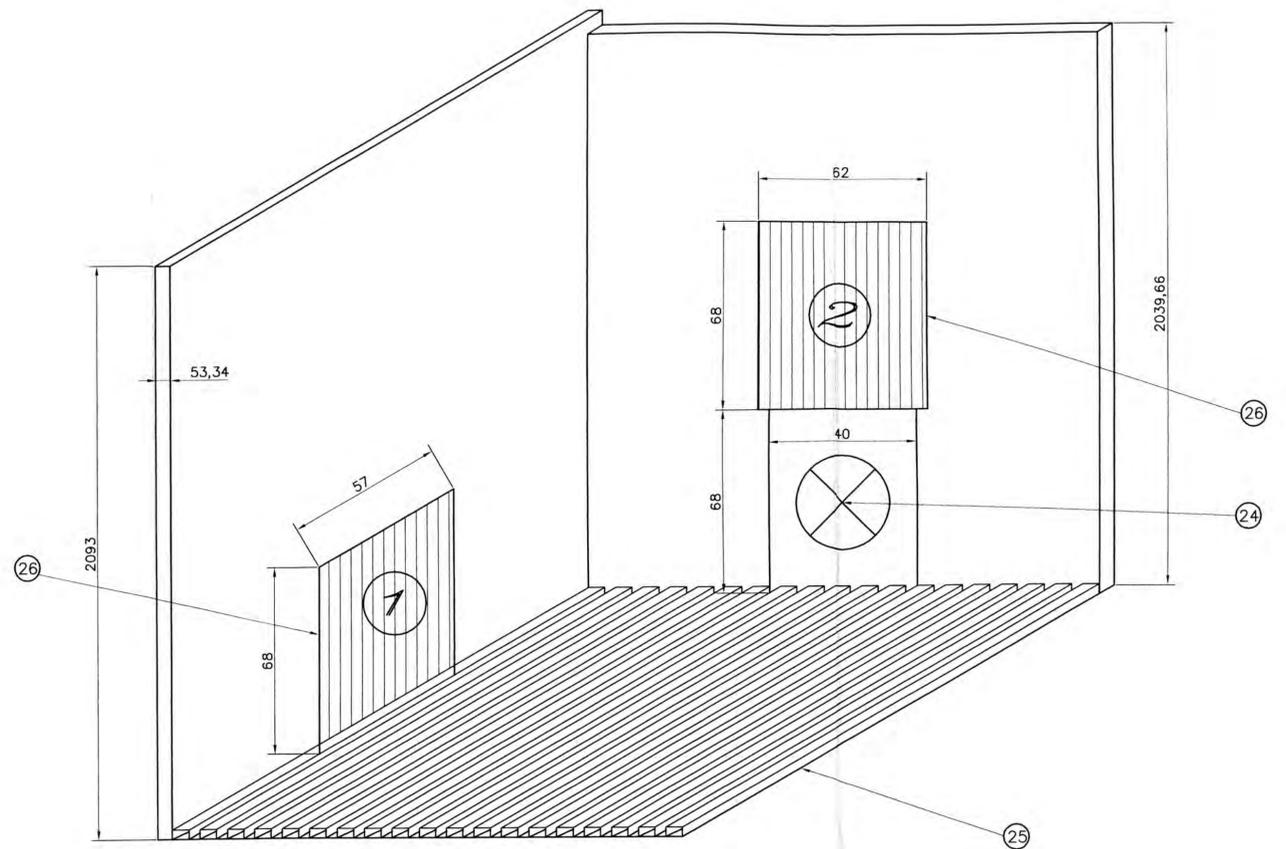
I - MI

PLANOS



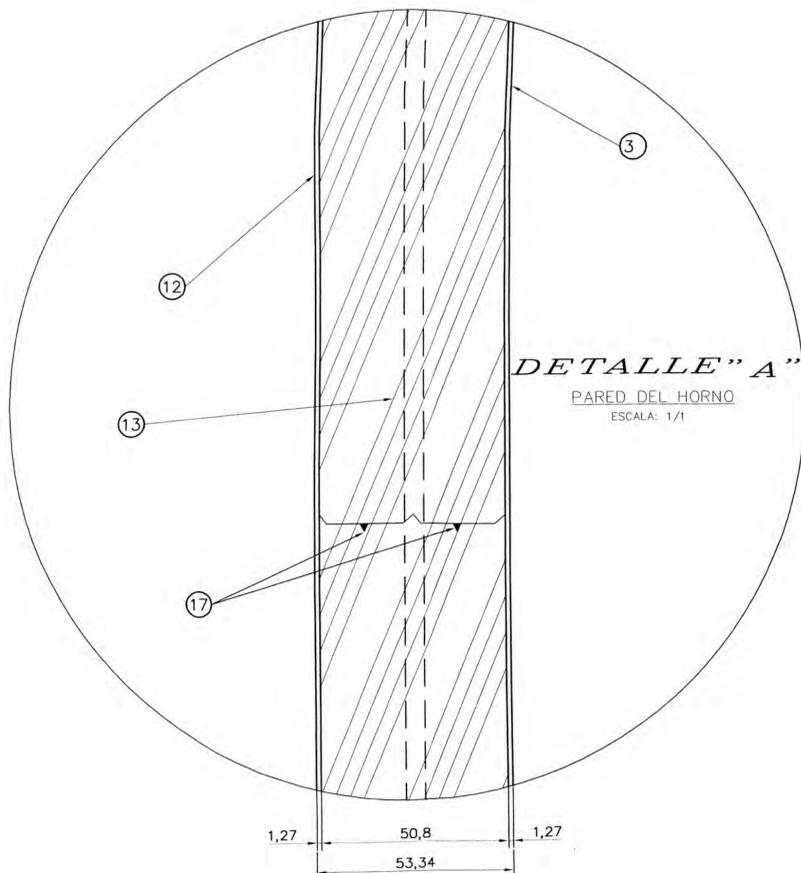
VISTA EXTERNA DEL HORNO (ISOMETRICO)

ESCALA: 1/40/3

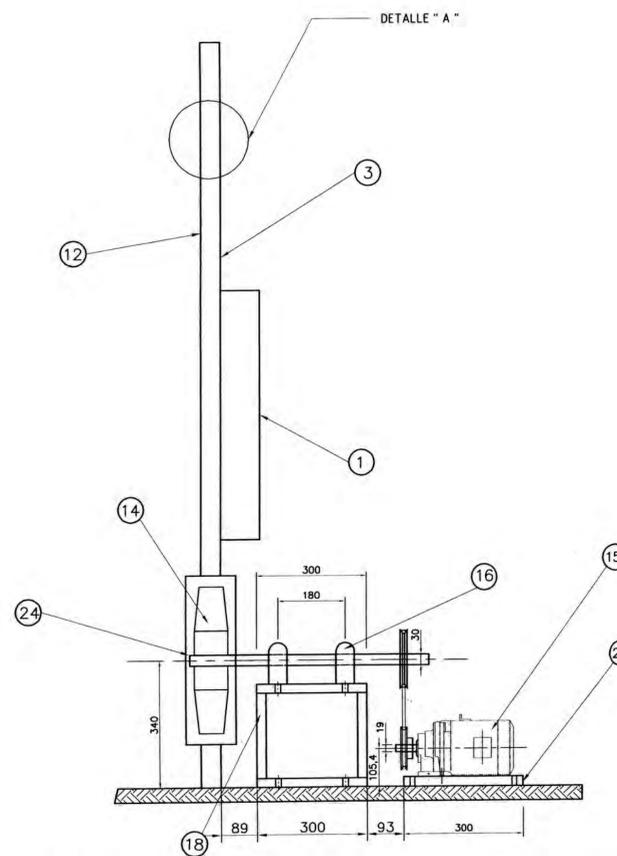


VISTA DE LA PARTE INTERNA DEL HORNO

ESCALA: 1/40/3

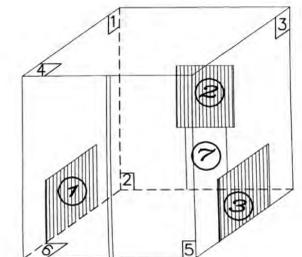
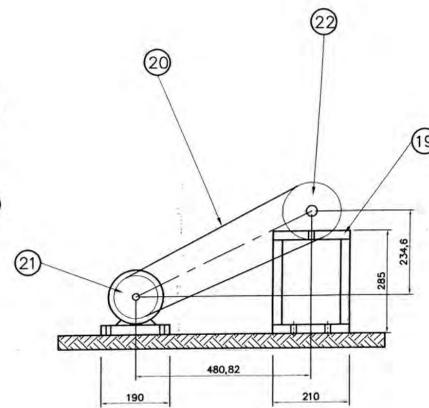


DETALLE "A"
PARED DEL HORNO
ESCALA: 1/1



VISTA DE CANTO DE LA PARED QUE CONTIENE AL VENTILADOR

ESCALA: 1/10



PAREDES DEL HORNO
①②③: Calentadores
1,2,3,4,5,6: Paredes
⑦: Ventilador axial.

ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCION	MATERIAL	OBSERVAC.
26	3	SUPERFICIE DE CALENTADOR (Fuente de calor)	ACERO INOX.	Placa rugosa
25	19	ANGULOS 60 x 35 x 35mm (En piso del horno)	PG-E24	
24	1	EJE DE VENTILADOR $\phi=30$ mm ; L = 600mm.	ACER.BOHLER	
23	1	BASE MOTOR PL 300 X 190 X 1"	PG-E24	
22	1	POLEA CONDUGIDA	ACER.BOHLER	
21	1	POLEA MOTRIZ	ACER.BOHLER	
20	1	FAJA EN "V" . ANCHO=12,7mm, ALTURA=7,9mm		
19	2	PL 300 X 210 X 3/4"	PG-E24	
18	2	PL 210 X 247 X 3/4"	PG-E24	
17	2	ANGULO DE 3/4"x3/4"x1/8"	PG-E24	
16	2	CHUMACERAS DE RODAMIENTOS $\phi=30$		
15	1	MOTOR ELECTRICO 1,8 HP - 3600 RPM		
14	1	VENTILADOR AXIAL	PG-E24	
13	5	AISLANTE TERMICO	FIBRA VDRIO	COMPACTADO
12	5	PARED INTERNA DEL HORNO PL 1/20"	ACERO INOX.	INTEMPERIZADO
11	2	AGARRADEAS PARA GIRAR LAS PUERTAS DEL HORNO	ACERO INOX.	
10	2	PILOTOS SEÑALIZADORES DEL HORNO Y VENTILADOR		
9	2	PULSADORES DE ARRANQUE Y PARADA DEL HORNO		
8	2	PULSADORES DE ARRAN. Y PARAD. DEL VENTILADOR		
7	2	PUERTA DEL HORNO	ACERO INOX.	PARED EXTERNA
6	1	PIROMETRO (regulador automática de Temperatura)		DISP. ELECTRONICO
5	1	ABERTURA O CHIMENEA DEL HORNO PL 1/20"	ACERO INOX.	
4	1	TERMOMETRO BIMETALICO	BI-METALICO	
3	5	PARED EXTERNA DEL HORNO	ACERO INOX.	PARED EXTERNA
2	1	CAJA DEL TABLERO ELECTRICO Y DE CONTROL	ACERO INOX.	TAPA EXTERIOR
1	3	CAJA DE CALENTADOR ELECTRICO	ACERO INOX.	TAPA EXTERIOR

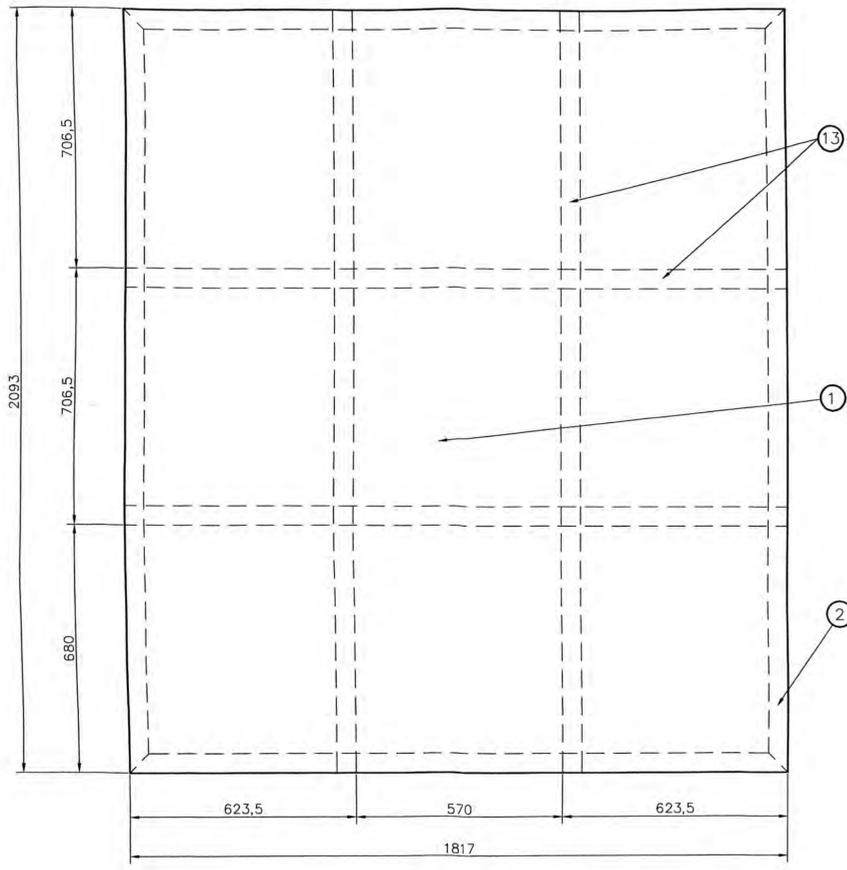
POSCANT. DESCRIPCION MATERIAL OBSERVAC.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

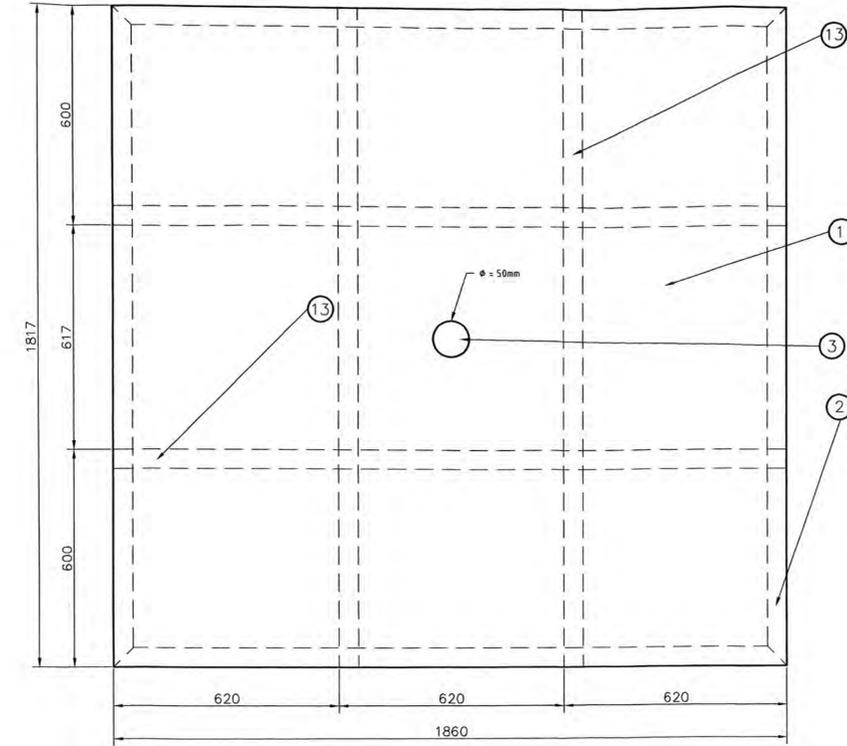
NUMERO DESIGNACION ESCALA

001 HORNO PARA TRANSFORMADORES ARREGLO GENERAL INDICADA

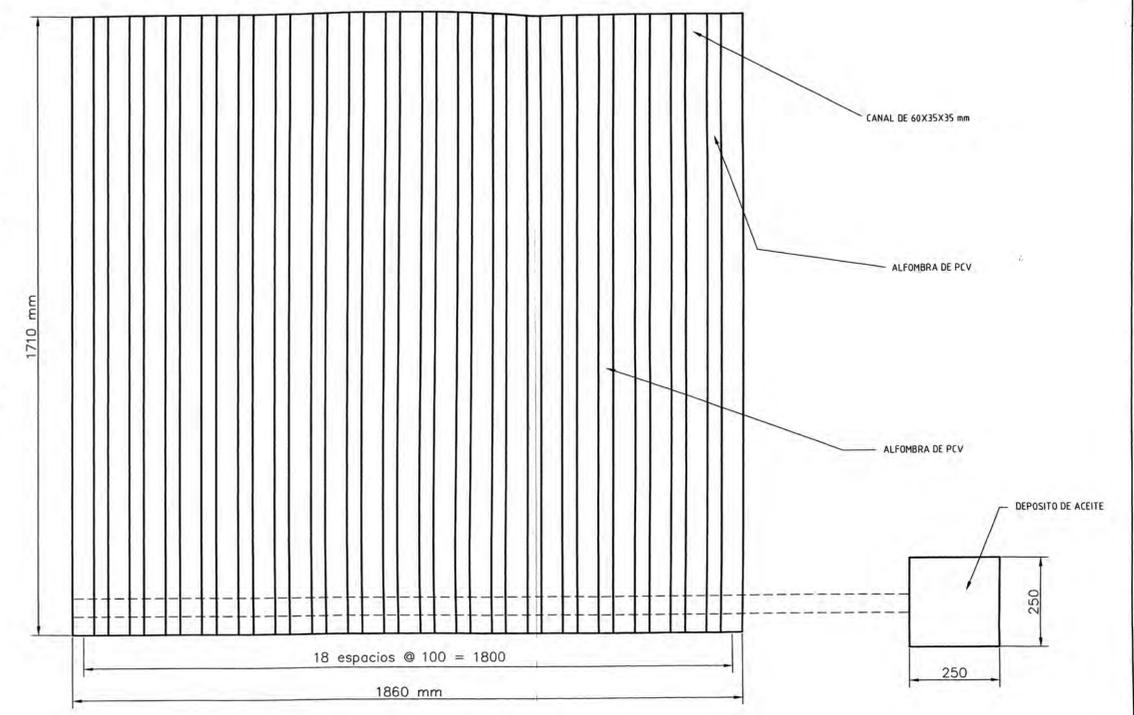
FECHA GRADUANDO ASESOR PROYEC.



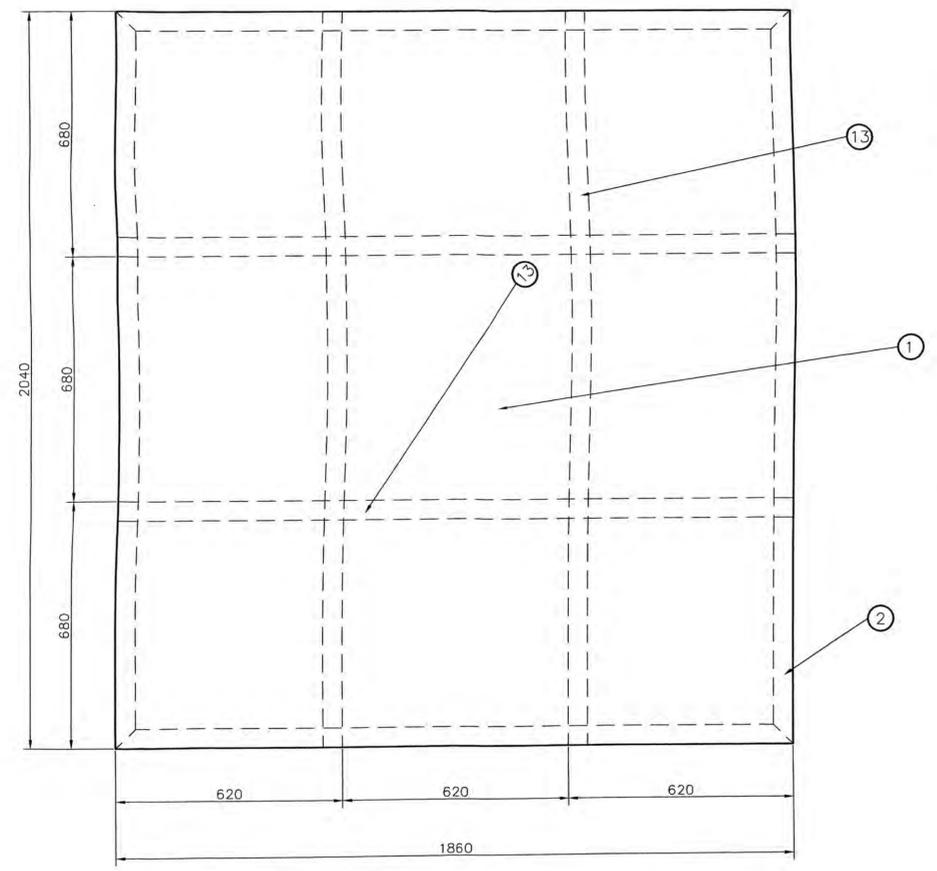
PAREDES "1" Y "3" (CANT=4)
ESCALA: 1/10



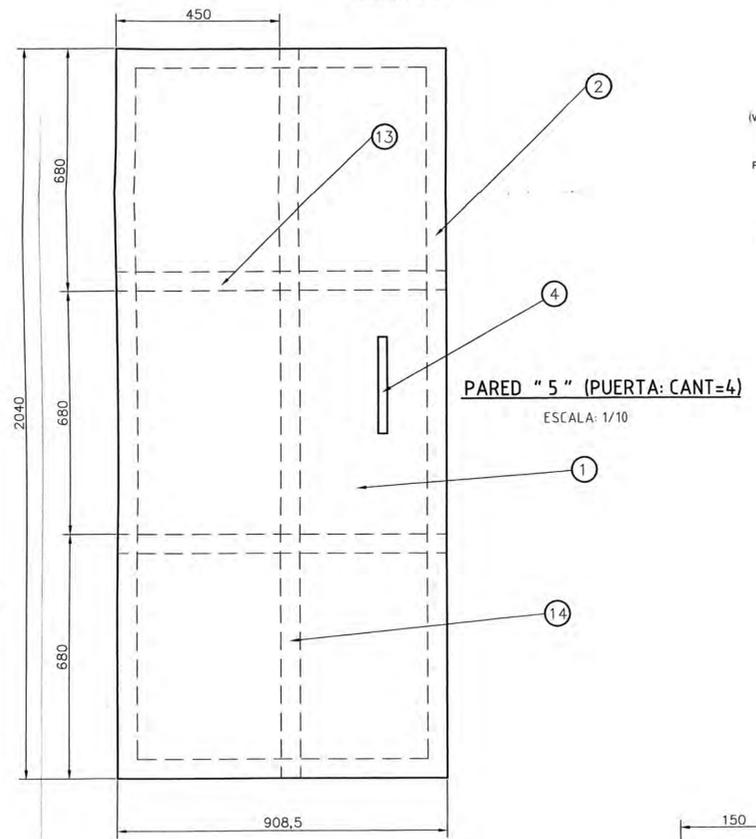
PARED "4" (TECHO: CANT=2, INT. Y EXT.)
ESCALA: 1/10



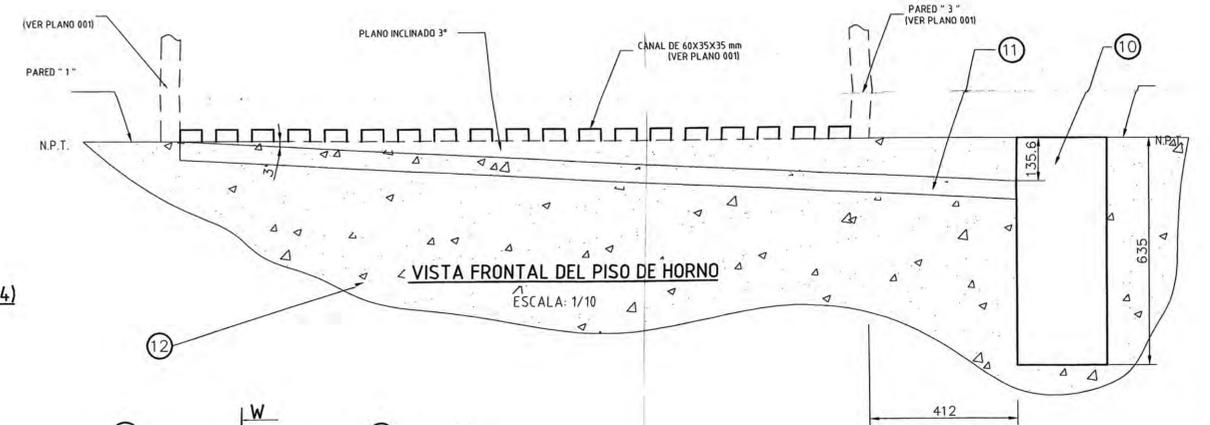
VISTA HORIZONTAL DEL PISO DE HORNO
ESCALA: 1/10



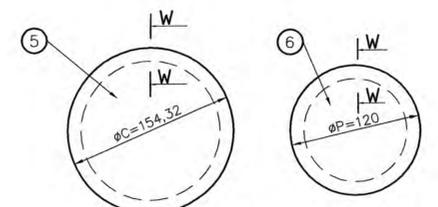
PARED "2" (CANT=2)
ESCALA: 1/10



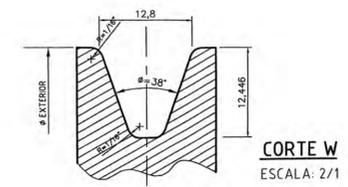
PARED "5" (PUERTA: CANT=4)
ESCALA: 1/10



VISTA FRONTAL DEL PISO DE HORNO
ESCALA: 1/10



DETALLE DE POLEA CONDUcida Y MOTRIZ
ESCALA: 3/10



DETALLE DE VENTILADOR
ESCALA: 1/5

NUMERO	DESCRIPCION	MATERIAL	OBSERVAC.
13	1	ANGULO 3/4" x 3/4" x 1/8" ACERO COMERCIAL	PG - E24
12	1	MATERIAL REFRACTARIO (LADRILLO)	LADRILLO
11	1	TUBO DE PVC - P DE #2"	PVC - P
10	1	DEPOSITO EXTERNO DE ACEITE	PG - E24
9	1	TAMBOR DE VENTILADOR PL 1/8"	ACERO INOX.
8	1	EJE DEL VENTILADOR AXIAL $\phi=30$ mm ACERO	ACERO BOHLER
7	6	ALABE DEL VENTILADOR AXIAL PL 1/16"	ACERO INOX.
6	1	POLEA MOTRIZ $\phi=120$ mm FIERRO	ACERO BOHLER
5	1	POLEA CONDUcida $\phi=154,32$ mm FIERRO	ACERO BOHLER
4	2	AGARRADERA DE PUERTA ACERO DE PL 1/16"	PG - E24
3	1	ORIFICIO CHIMENEA DEL HORNO	
2	1	ANGULO 1" x 1" x 1/8" ACERO COMERCIAL	PG - E24
1	4	PL 2093 X 1817 X 1/20"	ACERO INOX.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

NUMERO	DESIGNACION	ESCALA
002	DETALLES DEL HORNO	INDICADA

FECHA	GRADUANDO	ASESOR	PROYEC.
18/05/2005	RUDY ALEJANDRO GARATE AYBAR	Ing. JORGE AVILA TOVAR	