



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

CUAUTITLÁN

HORNO DE COMBUSTION DE GAS PARA
TRATAMIENTOS TERMICOS

289547

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A N :

J. GUADALUPE AGUILAR DE LA ROSA

OSCAR MANUEL CARRILLO ORTIZ

JOSE VALENTIN MONROY BARRERA

ASESOR: M.I. FELIPE DIAZ DEL CASTILLO RODRIGUEZ

CUAUTITLÁN IZCALLI, EDO. DE MÉXICO

2001



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES



ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLAN

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
P R E S E N T E

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

"Horno de combustión de gas para tratamientos térmicos".

que presenta el pasante: José Valentin Monroy Barrera
con número de cuenta: 8901623-5 para obtener el título de:
Ingeniero Mecánico Electricista

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán izcalli, Méx. a 4 de Diciembre de 2000

PRESIDENTE	<u>Ing. Enrique Cortes González</u>	<u>[Firma]</u>
VOCAL	<u>Ing. Ramón Osorio Galicia</u>	<u>[Firma]</u>
SECRETARIO	<u>M.I. Felipe Díaz del Castillo Rodríguez</u>	<u>[Firma]</u>
PRIMER SUPLENTE	<u>Ing. Jesús García Lira</u>	<u>[Firma]</u>
SEGUNDO SUPLENTE	<u>Ing. Guillermo Santos Dimos</u>	<u>[Firma]</u>

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

FACULTAD DE ESTUDIOS

R. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
PRESENTE

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

"Horno de combustión de gas para tratamientos térmicos".

que presenta el pasante: Oscar Manuel Carrillo Ortiz
con número de cuenta: 8803577-4 para obtener el título de:
Ingeniero Mecánico Electricista

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO

ATENTAMENTE

POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 4 de Diciembre de 2000.

PRESIDENTE Ing. Enrique Cortes González [Firma]

VOCAL Ing. Ramón Osorio Galicia [Firma]

SECRETARIO M.I. Felipe Díaz del Castillo Rodríguez [Firma]

PRIMER SUPLENTE Ing. Jesús García Lira [Firma]

SEGUNDO SUPLENTE Ing. Guillermo Santos Olmos [Firma]

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS



ESTADOS UNIDOS MEXICANOS

FES CUAUTITLAN
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
PRESENTE

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

"Horno de combustión de gas para tratamientos térmicos".

que presenta el pasante: J. Guadalupe Aguilar De la rosa
con número de cuenta: 8901007-5 para obtener el título de :
Ingeniero Mecánico Electricista

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán izcalli, Méx. a 4 de Diciembre de 2000

- | | | |
|------------------|--------------------------------------|--------------------------|
| PRESIDENTE | <u>Inq. Enrique Cortes González</u> | <u>[Firma]</u> |
| VOCAL | <u>Inq. Ramón Osorio Galicia</u> | <u>[Firma]</u> |
| SECRETARIO | <u>M.I. Felipe Díaz del Castillo</u> | <u>Rodríguez [Firma]</u> |
| PRIMER SUPLENTE | <u>Inq. Jesús García Lira</u> | <u>[Firma]</u> |
| SEGUNDO SUPLENTE | <u>Inq. Guillermo Santos Olmos</u> | <u>[Firma]</u> |

INDICE
CAPITULO 1
ANTECEDENTES.

1.1. Introducción.....	4
1.2. Tipos de hornos.....	6
1.2.1. Hornos de combustión.....	6
1.2.2. Horno de incineración.....	8
1.2.3. Hornos eléctricos y estufas.....	9
1.3. Transferencia de calor por convección.....	10
1.4. Acero y su clasificación.....	12
1.4.1. Clasificación del acero de acuerdo a su contenido de carbono.....	13
1.5. Tratamientos térmicos.....	15

CAPITULO 2
MEMORIA DE CALCULO.

2.1. Material de proceso.....	20
2.1.1. Efecto de la temperatura.....	21
2.1.2. Influencia de los elementos de aleación.....	22
2.1.3. Tiempo de calentamiento.....	23
2.2. Dimensiones de las piezas.....	23
2.2.1. Acomodamiento de las piezas dentro del horno.....	24
2.3. Refractarios y aislantes.....	26
2.3.1. Selección del refractario y aislante.....	27
2.3.2. Paredes laterales.....	30
2.3.3. Techo.....	32
2.3.4. Piso.....	32
2.3.5. Puerta.....	33
2.3.6. La carcaza.....	34

2.4. Perdidas de calor de las paredes (laterales, techo y piso).....	35
2.5. Calor suministrado a la carga.....	36
2.6. Potencia térmica instalada.....	37
2.7. Puertos para humos en los hornos.....	40
2.7.1. Calculo de ductos para desalojo.....	43

CAPITULO 3

SISTEMA DE COMBUSTION.

3.1. Combustión perfecta.....	47
3.2. Sistema combustión.....	48
3.2.1. Quemadores.....	48
3.2.2. Ventilador.....	49
3.3. Calculo de las perdidas de presión en tuberías.....	52
3.4. Sistema de control.....	55
3.4.1. Control del sistema de combustión.....	55
3.4.2. Sistema de encendido.....	57

Conclusiones.....	59
-------------------	----

Bibliografía.....	61
-------------------	----

ANEXO

Planos de conjunto, diagrama de la instalación de gas y diagrama eléctrico.....	64
---	----

CAPITULO 1

ANTECEDENTES

1.1. Introducción.

México requiere el desarrollo de la industria productiva de bienes de capital que sirvan para la fabricación de una amplia variedad de artículos que satisfagan las necesidades del creciente mercado nacional y que además sean competitivos en calidad y precio en los mercados extranjeros.

Los hornos industriales son bienes de capital en los que se aprovecha la energía térmica liberada por el proceso de combustión o por otras fuentes como la electricidad, Rayos Láser, etc. Esta energía térmica es necesaria para la obtención y procesamiento de los metales y sus aleaciones, de productos cerámicos, de cemento Portland y muchos más que satisfacen una enorme variedad de necesidades de esta época.

En el país se han establecido algunas fabricas de hornos industriales, varias de ellas son subsidiarias o licenciadas por empresas extranjeras que suministran la tecnología y los planos constructivos de los hornos sin el desarrollo de la tecnología especializada en nuestro país. Su aporte se reduce al establecimiento de fuentes de trabajo para el personal ciertamente calificado pero no alienta ni desarrolla a conciencia a los ingenieros mexicanos en la obtención de equipos para procesos térmicos.

Desde luego, en forma por demás dispersa, se encuentra disponible mucha información técnica necesaria para el desarrollo de esta tecnología. Sin embargo, una buena parte de esta tecnología es empírica y las empresas que la han desarrollado han incurrido en fuertes inversiones en sus planes de investigación y desarrollo. Una forma de independencia tecnológica es que los ingenieros mexicanos mantengan viva y activa su inquietud para su capacitación profesional continua para que su aporte al país contribuya a la separación económica de las empresas extranjeras.

En la actualidad, se dispone en el mercado nacional de un alto porcentaje de los equipos y materiales necesarios para la fabricación de hornos. Conviene mencionar algunos que son comunes a muchos hornos: acero estructural y en chapas, aislamientos térmicos, refractarios, equipos para la combustión, motores y equipos de control eléctrico, equipos de accionamiento neumático o hidráulico, equipos transportadores y para transmisión de fuerza motriz, fundidoras de partes de acero refractario e inoxidable, ventiladores, etc. Quizá uno de los importantes componentes que aun no se fabrican en

el país son los que se emplean en la medición y regulación de la temperatura en los hornos.

Los hornos son bienes de capital cuyo costo es inherentemente alto, pues en su construcción intervienen materiales y equipos que por esas características o propiedades, su manufactura es costosa. Si a esto se añade el costo de la mano de obra especializada y el importante costo de la tecnología, el resultado es un equipo de alto precio de fabricación. Este factor es el que se debería de tomar muy en cuenta para que la industria mexicana tienda a adquirir en nuestro país los hornos industriales, que evitarán la fuga de divisas y que como beneficio importante al país, permitirán el desarrollo de tecnología propia, tomando como base la tecnología existente, disponible y la experiencia propia de los fabricantes.

Para el desarrollo de este proyecto se tomo como base las necesidades que hay dentro de nuestra institución en cuanto a equipo de esta naturaleza; para poder trabajar térmicamente incluimos requerimientos térmicos del producto como son, el diagrama hierro - carbono y diagramas transformación tiempo - temperatura, su manejo en caliente y frío para cargarlo y descargarlo del horno, el espacio disponible para el montaje de equipo, la forma y dimensión de las partes a tratar térmicamente, el combustible disponible, la operación segura del sistema de combustión y los trabajos de mantenimiento preventivo y correctivo que se requieran conforme transcurra la vida del horno.

El proyecto consiste básicamente en la selección de materiales y accesorios para la construcción de un horno tipo caja con puerta de guillotina con una capacidad térmica tal que sea capaz de llevar un determinado número de piezas de acero hasta la temperatura necesaria para su tratamiento térmico.

El alcance del proyecto comprende el estudio y discusión de la absorción de calor por las partes que se tratarán térmicamente. La forma básica del horno que permita el fácil acomodo y retiro de las partes en el horno tomando en cuenta las facilidades que proporciona el equipo externo al horno, la selección del proyecto básico del horno, el cálculo de las cargas térmicas en el horno que permitan el proyecto del sistema de combustión incluyendo la selección de sus diversos componentes, el proyecto de los sistemas de regulación de la temperatura en el horno, el proyecto del recubrimiento

aislante y refractario del horno y de seguridad en la combustión del como el proyecto de la estructura metálica exterior del horno.

Como elemento de juicio para la elaboración del proyecto se han, considerado en primer término la funcionalidad y la larga vida de los componentes del horno. Como segundo en importancia, el costo. Además se utilizó el criterio de selección de piezas con fabricación nacional para asegurar y facilitar su eventual cambio o reparación.

1.2. Tipos de hornos.

En su más amplia acepción, se entiende por horno un espacio o lugar en el que se puede obtener una temperatura lo suficientemente alta como para hacer sufrir una transformación a un determinado producto colocado en él. Esta transformación puede ser de diferente naturaleza:

- a). - Fundición.
- b). - Defecación.
- c).- Cocción.
- d).- Oxidación.
- e). - Reducción.

Etcétera.

Los hornos se diferencian también por la manera en que el producto es recalentado: por combustión de un combustible sólido, líquido o gaseoso; por electricidad, por radiaciones infrarrojas, por una corriente de alta frecuencia, etc. Dentro de cada uno de estos tipos de hornos existen muchas variedades, según los sistemas de producción de calor y los dispositivos precisos para que la operación pueda realizarse satisfactoriamente.

1.2.1. Hornos de combustión.

Los hornos para calentamiento se clasifican ordinariamente según:

Fin del calentamiento Primordialmente se da una calificación metalúrgica según que el horno sea proyectado para revenido, recocado, carburizado, cianurado, forjado, calentado para conformación o laminado, esmaltado o para algún otro fin.

Transferencia del calor. Las variedades principales son hornos de reverbero, en los cuales el calor de los productos de combustión es transmitido al material calentado, con el que están en contacto directo, por convección y radiación directa desde los gases calientes o por radiación o reflexión desde las paredes calientes del horno (figura 1.1.); hornos de mufla, en los cuales el calor se transmite por conducción a través de una mufla metálica o refractaria que protege al material calentado, el cual está rodeado, a veces, por gases inertes para impedir que tengan contacto con el aire, los hornos de baños líquidos, en los cuales se calienta una marmita metálica por su parte exterior o por inmersión. Esta marmita contiene un medio líquido para calentamiento o para conseguir algún proceso, que transmite el calor al material sumergido en él. la forma comúnmente aceptada de los hornos de mufla, es el horno calentado por tubo radiante, en el cual el combustible se quema en tubos, metálicos o refractarios que transmitan calor a la carga por radiación. Una forma importante de horno para temperaturas bajas de 700°C (1300°F) es el del tipo de recirculación, en el cual el combustible se quema en una cámara de combustión externa y el producto de dicha combustión, mezclado con aire, se hace circular rápidamente a través de la cámara de calentamiento. Un desarrollo reciente es el calentamiento de convección forzada por medio de un gran número de chorros a alta velocidad. En el calentamiento de alta velocidad (ó combustión moderada), se disponen los quemadores de mezcla previa para obtener una aplicación última del calor y, con una cabeza alta de temperatura, se realiza un calentamiento muy rápido.

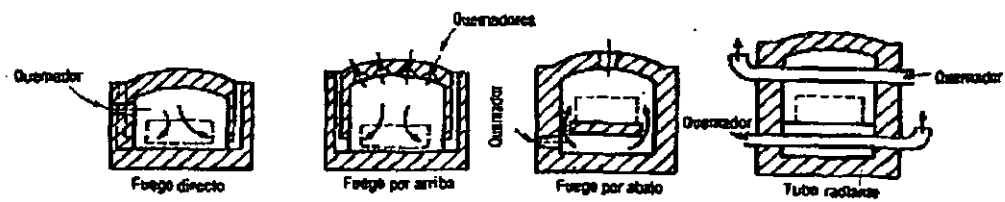


Figura 1.1. Métodos de calentamiento de los hornos de reverbero.

Método de calentar el horno. Esta clasificación se aplica sobre todo a los hornos de reverbero, e indica si el horno se calienta con fuego directo, por arriba, por abajo o por

tubos radiantes. Los métodos de calentamiento directo se utilizan cada vez más, debido a las mejoras en el diseño y control de los quemadores de gas o aceite, especialmente para temperaturas mayores de 650°C (1202°F). En los hornos calentados por arriba, los quemadores radiantes queman el combustible desde la parte superior y se encuentran arreglados en patrones con el fin de distribuir mejor la temperatura. El horno calentado por abajo es excelente para temperaturas comprendidas entre 400 a 1000°C (752 a 1832°F), debido a que el material calentado queda protegido de las elevadas temperaturas del combustible ardiendo. La temperatura y la atmósfera pueden ser controladas fácilmente, pero la temperatura se encuentra limitada, por la vida de los materiales refractarios, a un valor aproximado de 1000°C (1832°F). En la actualidad, muchos hornos se diseñan para emplearse con atmósferas protectoras especiales y requieren tubos radiantes para evitar cualquier contacto con los gases de combustión. Estos tubos quemadores de combustible, fabricados con aleaciones resistentes al calor, pueden colocarse en forma horizontal, a través del horno, por encima y por debajo del material que se va a calentar, o en forma vertical, sobre las paredes del horno.

Método de manipulación del material. En los del tipo de funcionamiento intermitente o por jornadas, el material que ha de calentarse se carga dentro del horno y permanece en la misma posición hasta que se saca después de que se halla calentado lo suficiente. En un horno continuo, el material se mueve a lo largo de él por medios mecánicos que incluyen empujadores, transportadores de cadena, hogares con movimiento alternativo, hogares circulares rotatorios, vagonetas, vigas viajeras y hogares con rodillos. Los hornos continuos son dispositivos que ahorran principalmente mano de obra y pueden o no economizar combustible.

1.2.2. Horno de incineración.

El tipo de horno para incineración está determinado principalmente por el tipo de parrilla alrededor de la cual se construye. Excepto en plantas pequeñas, los hornos modernos están equipados con parrillas mecánicas.

El horno circular. El horno circular representa un avance en la alimentación mecánica. La parrilla es estática con secciones exteriores engoznada para descargar residuos. En

el centro se encuentra un molde en forma de cono y extendidos desde la base del cono hay dos brazos envolventes para agitar lentamente los desechos durante la combustión. Los desechos se reciben en forma intermitente, a través de una puerta en el techo.

El horno rectangular. Los hornos de parrilla mecánica más reciente tienen forma rectangular, con movimiento suministrado por el desplazamiento de la parrilla o por la acción recíproca de las secciones de la misma. Los desechos se alimentan por gravedad a través de un conducto vertical, por un pistón o un dispositivo similar.

1.2.3. Hornos eléctricos y estufas.

En los hornos y estufas de resistencias, el calor es producido por la circulación de la corriente a través de resistencias distribuidas (unidades de calentamiento), separadas. Se emplea la corriente alterna de una frecuencia estándar. El servicio de estos hornos es para la aplicación de calor a cuerpos sólidos, y se emplea para el tratamiento térmico de los metales, para el recocido del vidrio y para la cocción del esmalte vítreo. El servicio de las llamadas estufas cerradas está limitado a procesos de secado y cocción ordinariamente por debajo de 260°C (500°F).

En los **calentadores de inducción**, el calor se produce por corrientes inducidas en la carga. El servicio se limita a calentar metales a temperaturas inferiores a sus puntos de fusión.

En los **hornos de inducción**, el calor se produce por corrientes inducidas en la carga. El servicio se limita a calentar metales a temperaturas inferiores a sus puntos de fusión.

En los **hornos de arco** el calor producido por un arco, o por arcos, que saltan a la carga o por encima de ella. Los hornos de arco directo son aquellos en que los arcos saltan a la propia carga. En los de arco indirecto, el arco se produce entre los electrodos y por encima de la carga. Se emplea una energía de frecuencia estándar en ambos casos. El servicio general consiste en fundir y refinar metales y aleaciones.

En los **hornos de resistencia** del tipo de arco sumergido, el calor es desarrollado por el paso de la corriente de electrodo a electrodo a través de la carga. La fabricación de productos básicos, tales como ferroaleaciones, grafito, carburo de calcio y carburo de silicio, es su servicio general. Se emplea la corriente alterna de frecuencia estándar. Una

excepción la constituye el empleo de corriente continua cuando se obtiene el producto por acción electrolítica en un baño fundido, por ejemplo, en la producción del aluminio.

1.3. Transferencia de calor por convección.

La transferencia de calor puede definirse como la transmisión de energía de una región a otra, resultado de la diferencia de temperatura existente entre ellas. La literatura sobre transferencia de calor generalmente reconoce tres modos distintos de transmisión de calor: conducción, radiación y convección. La convección, no cumple estrictamente con la definición de transferencia de calor, porque para su operación también depende del transporte mecánico de masa. Pero, puesto que en la convección también se efectúa transmisión de energía desde regiones de temperatura más alta a regiones de temperatura más baja, ha sido generalmente aceptado el término "transferencia de calor por convección".

La convección es un proceso de transportación de energía por la acción combinada de conducción de calor, almacenamiento de energía y movimiento de mezcla. La convección tiene gran importancia como mecanismo de transferencia de energía entre una superficie sólida y un líquido o un gas.

La transferencia de energía por convección, desde una superficie cuya temperatura es superior a la del fluido que la rodea, se realiza en varias etapas. Primero, el calor fluirá por conducción desde la superficie hacia las partículas adyacentes de fluido. La energía así transferida servirá para incrementar la temperatura y la energía interna de esas partículas del fluido. Entonces, las partículas del fluido se moverán hacia una región del fluido con temperatura más baja, donde se mezclarán y transferirán una parte de su energía a otras partículas del fluido. El flujo en este caso involucra fluido y energía. Realmente la energía es almacenada en las partículas del fluido y es transportada como resultado del movimiento de masa. Para su operación este mecanismo no depende únicamente de la diferencia de temperatura y, por lo tanto, no está estrictamente de acuerdo con la definición de transferencia de calor. Sin embargo, el efecto neto es un transporte de energía y, puesto que éste ocurre en la dirección de un gradiente de temperatura.

La transferencia de calor por convección se clasifica, de acuerdo con la forma de inducir el flujo, en convección libre y convección forzada. Cuando el movimiento de mezclado tiene lugar exclusivamente como resultado de la diferencia de densidades causada por los gradientes de temperatura, se habla de convección natural o convección libre. Cuando el movimiento de mezclado es inducido por algún agente externo, tal como una bomba o un agitador, el proceso se conoce como convección forzada.

La eficiencia de la transferencia de calor por convección depende básicamente del movimiento de mezclado del fluido. Como consecuencia, un estudio de la transferencia de calor por convección se basa en el conocimiento de las características del flujo del fluido

La rapidez de calor transferido por convección en una superficie y un fluido, puede calcularse por la relación.

$$q = h A \Delta T$$

donde:

q = rapidez de calor transferido por convección en KW.

A = área de transferencia de calor en m^2 .

ΔT = diferencia entre la temperatura de la superficie T_s y la temperatura del fluido T_∞ en algún lugar específico (usualmente lejos de la superficie) en $^\circ C$

h = unidad de conductancia térmica promedio para la convección (frecuentemente llamado coeficiente de transferencia de calor por unidad de superficie o coeficiente de transferencia de calor en la convección) en $W/m^2^\circ C$.

La evaluación del coeficiente de transferencia de calor de la convección es difícil, debido a que la convección es un fenómeno muy complejo. En este punto es suficiente observar que el valor numérico de h en un sistema, depende de la geometría de la superficie y de la velocidad, así como de las propiedades físicas del fluido y frecuentemente también de la diferencia de temperaturas ΔT . En vista de que estas cantidades no son necesariamente constantes sobre una superficie, el coeficiente de transferencia de calor en la convección puede también variar de punto a punto. Por esta razón, se debe distinguir entre un coeficiente local de transferencia de calor en la convección y un coeficiente promedio. El coeficiente local h esta definido por:

$$dq = h dA (T_s - T_\infty)$$

mientras que el coeficiente promedio \bar{h} puede definirse en términos del valor del coeficiente local, por medio de la ecuación siguiente:

$$\bar{h} = 1/A \iint_A h \, dA.$$

donde:

\bar{h} = Coeficiente de convección promedio en $W/m^2 \cdot ^\circ C$

A = Área de transferencia de calor en m^2

h = Coeficiente de convección local

1.4. Acero y su clasificación.

Acero.- Es una aleación de hierro y carbono y a menudo otros elementos de aleación. En acero al carbono y acero de baja aleación, el máximo contenido de carbono es del 2.0%; en aceros de alta aleación, es de 2.5% aproximadamente. La línea de separación entre aceros de baja aleación y aceros de alta aleación, se considera generalmente como del 5% de elementos metálicos de aleación.

Acero al carbono. Acero que contiene hasta aproximadamente 2% de carbono y sólo cantidades residuales de otros elementos, excepto aquellos agregados para desoxidación, con silicio generalmente limitado a 0.60% y manganeso aproximadamente 1.85%; también se conoce como acero simple.

Acero aleado. Acero al cual se le han agregado de manera intencional elementos como Cr, Ni, Mo, V, etc.; y con las cantidades comúnmente aceptadas de manganeso, silicio, azufre y fósforo; se agregan para mejorar las propiedades mecánicas o físicas de los aceros.

El acero se debe diferenciar de dos tipos generales de "Hierros". Los fundidos, en el lado de alto carbono, y de los relativamente puros, del lado de bajo carbono.

1.4.1. Clasificación del acero de acuerdo a su contenido de carbono.

El término acero ordinario al carbono describe los aceros en los que los elementos de aleación están en cantidades pequeñas y prácticamente no determinan las propiedades. Estos aceros se clasifican de muy diversas formas, dos de las cuales se muestran en la figura 1.2. Recordemos que un acero de contenido de carbono eutectoide, 0.8%, forma, al enfriarse lentamente, la estructura perlítica.

Un acero hipoeutectoide contiene ferrita proeutectoide y perlita, mientras un acero hipereutectoide contiene cementita proeutectoide y perlita. En muchos casos, estas divisiones son demasiado amplias y los tipos de acero de bajo, mediano y alto contenido de carbono son de mayor interés práctico. El significado de estas clasificaciones se ilustrará al discutirlos aceros fundidos y los aceros forjados.

Aceros fundidos.

Las propiedades mecánicas de una pieza colada tienden a ser peores que las de la misma aleación en estado forjado, pero factores, como el que la pieza posea formas complicadas o de que la fabricación vaya a consistir en un pequeño número de piezas, pueden aconsejar el vaciado en un molde. Los contenidos elevados de carbono aumentan la resistencia mecánica de una pieza colada pero disminuye la ductilidad, por consiguiente, la mayor parte de los aceros moldeados tiene un contenido medio de carbono. Durante el enfriamiento lento del acero fundido, después de ser colado en un molde de arena, la primera fase sólida que se forma es la delta. Sin embargo, al continuar el enfriamiento la anterior fase es sustituida por austenita gruesa, posteriormente descomponiéndose en una estructura de Widmanstätten. La ferrita aparece en los límites de grano de la austenita y en forma de placas de Widmanstätten interpuestas en la perlita. Si se calienta la pieza colada hasta el interior de la región austenítica 871°C (1600°F), toda la estructura se transforma en grano de austenita relativamente fino. Al enfriarse en aire, está austenita se descompone en una mezcla fina de ferrita y perlita con mucho mejores propiedades. El tratamiento térmico, que consiste en calentar el acero hasta la región de la austenita del diagrama de equilibrio y después enfriarse al aire, se llama normalizado.

Aceros forjados.

La mayor parte del acero se emplea en forma de aleaciones forjadas obtenidas a partir de la deformación en caliente de los lingotes colados. La laminación (proceso económico y de los más utilizados en la deformación en caliente), se realiza a temperaturas situadas en la región de la austenita; por lo que, estos aceros laminados se encuentran, en estado normalizado después de haberse enfriado al aire desde la temperatura de trabajo.

Los aceros forjados se clasifican en: aleaciones de bajo, mediano y alto contenido de carbono.

Aceros de bajo carbono: No se endurecen por tratamiento térmico, contiene alrededor de un 0.2% de C y se emplea, como material de construcción de bajo costo y de aplicaciones generales (chapas de calderas). El bajo contenido de carbono mejora la ductilidad.

Aceros de medio contenido de carbono: Más resistentes que los de bajo contenido y su resistencia aumenta, mediante tratamiento térmico (temple y revenido), el cual aumenta su dureza y su resistencia mecánica, pero pierde ductilidad y tenacidad.

Aceros de alto carbono: Son aceros con más de 0.65% de carbono. Se utilizan cuando la dureza y resistencia al desgaste son más importantes que la ductilidad y tenacidad. También se someten al tratamiento de temple y revenido.

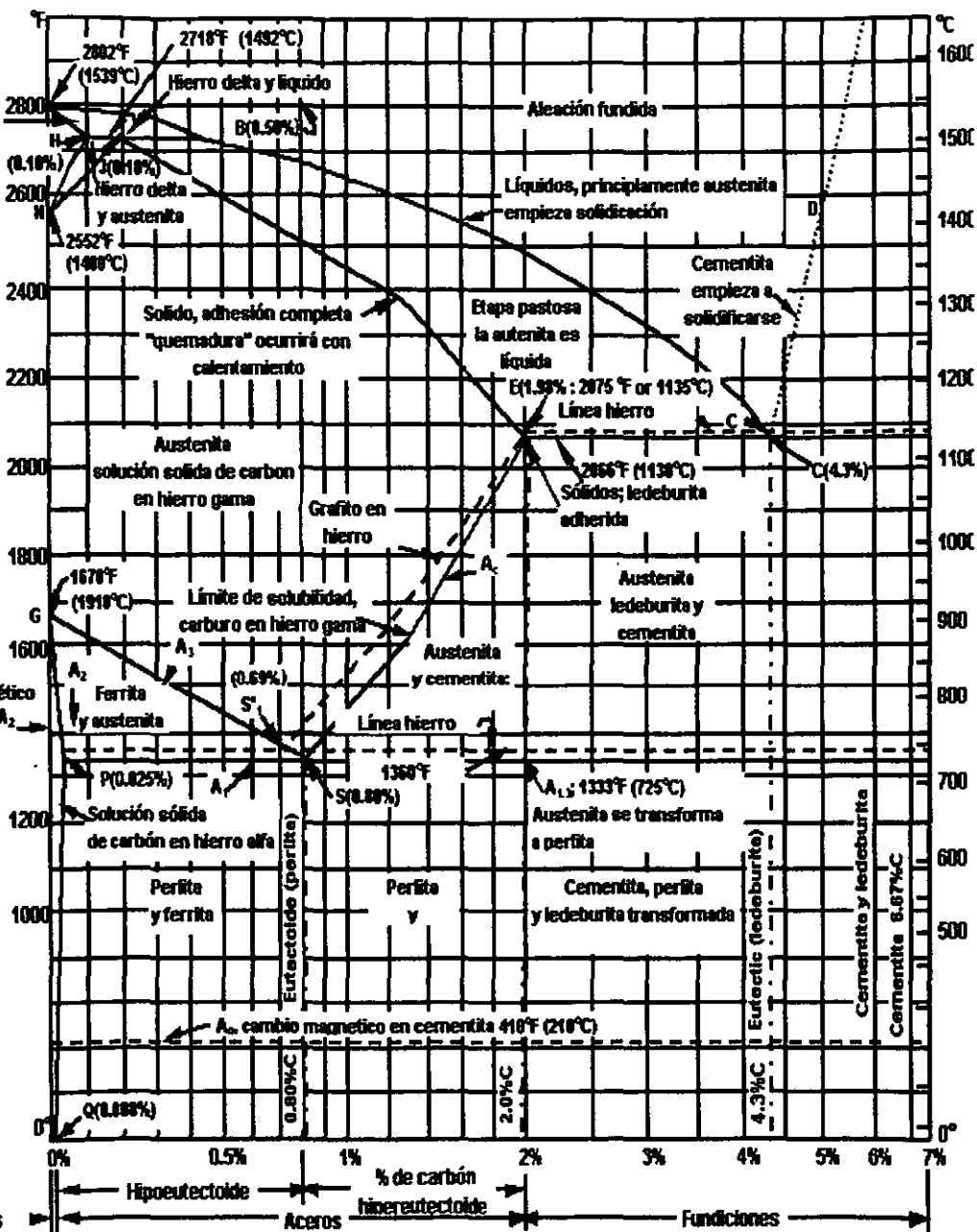


Figura 1.2. Diagrama hierro-carbono

1.5. Tratamientos térmicos.

Los tratamientos térmicos tiene por objeto mejorar las propiedades y características de los aceros, y consisten en calentar y mantener las piezas o herramientas de acero a temperatura adecuada, durante un cierto tiempo y enfriarlas luego en condiciones adecuadas.

El tiempo y la temperatura son los factores principales y hay que fijarlo siempre de antemano, de acuerdo con la composición del acero la forma y el tamaño de las piezas y las características que se desean obtener.

Los tratamientos térmicos aplicables a las aleaciones ferrosas más usados son:

Recocido.- Con este nombre se conoce varios tratamientos cuyo objetivo principal es ablandar el acero; otras veces también se desea además regenerar su estructura o eliminar tensiones internas. Consisten en calentamientos a temperaturas adecuadas, seguidos generalmente de enfriamientos lentos. Las diferentes clases de recocidos que se emplean en la industria se pueden clasificar en tres grupos:

1.- Recocidos de austenitización completa o de regeneración. En este caso el calentamiento se hace a una temperatura ligeramente más elevada que la crítica superior y luego el material se enfría muy lentamente. Sirve para ablandar el acero y regenerar su estructura.

2.- Recocido subcrítico. El calentamiento se hace por debajo de la temperatura crítica inferior, no teniendo tanta importancia como en el caso anterior la velocidad de enfriamiento, pudiendo incluso enfriarse el acero al aire sin que se endurezca. Por medio de este tratamiento se eliminan las tensiones del material y se aumenta su ductilidad.

Se pueden distinguir tres clases de recocidos subcríticos:

a).- Recocidos de ablandamiento. Su principal objetivo es ablandar el acero por un procedimiento rápido y económico. Con este tratamiento no se suelen obtener las menores durezas, pero en muchos casos las que se consiguen son suficientes para mecanizar perfectamente los materiales. El proceso consiste en calentar el acero hasta una temperatura, que siendo inferior a la crítica A_1 , sea lo más elevada posible y enfriar luego al aire.

b).- Recocido contra acritud. Se efectúa a temperatura de 550°C a 600°C , y tiene por objeto, principalmente, aumentar la ductilidad de los aceros de poco contenido de

carbono (menos de 0.40%) estirado en frío. Con el calentamiento a esa temperatura, se destruye la cristalización alargada de la ferrita, apareciendo nuevos cristales poliédricos más dúctiles que los primeros, que permiten estirar o laminar nuevamente el material sin dificultad. El enfriamiento se suele hacer al aire.

c).- Recocido subcrítico globular. En ocasiones para obtener en los aceros de mediano y alto carbono en los de baja aleación una estructura globular de muy baja dureza, en cierto modo parecida a la que se obtiene en el recocido globular de austenitización incompleta, se les somete a los aceros a un calentamiento ligeramente por debajo de la temperatura crítica inferior, enfriándose luego lentamente en el horno.

3.- Recocidos de austenitización incompleta (globular). Son tratamientos que se suelen dar a los aceros al carbono o aleados, de más de 0.50% de carbono, para ablandarlos y mejorar su maquinabilidad. Consisten en calentamientos prolongados a temperaturas intermedias entre la crítica superior y la inferior, seguidos siempre de un enfriamiento lento. El fin que se persigue con estos recocidos es obtener la menor dureza posible y una estructura microscópica favorable para el mecanizado de las piezas.

Normalizado.- Este tratamiento consiste en un calentamiento a temperatura ligeramente por arriba de la temperatura crítica superior, seguido de un enfriamiento en aire tranquilo. De esta forma, se deja el acero con una estructura y propiedades que arbitrariamente se consideran como normales y características de su composición. Se suele utilizar para piezas que han sufrido trabajo en caliente, trabajo en frío, enfriamientos irregulares o sobrecalentamientos, y también sirve para destruir los efectos de un tratamiento anterior defectuosos. Por medio del normalizado, se elimina las tensiones internas y se uniformizan el tamaño de grano del acero. Se emplea casi exclusivamente para los aceros simples al carbono o de baja aleación.

Temple.- El temple tiene por objeto endurecer y aumentar la resistencia de los aceros; para ello, se calienta en general el acero a una temperatura ligeramente más elevada que la crítica superior y se enfría luego más o menos rápidamente (según la composición y el tamaño de la pieza) en un medio conveniente, agua, aceite, etc. (En la figura 1.3. se puede ver los tres procesos antes mencionados).

Revenido.- Es un tratamiento que se da a las piezas de acero que han sido previamente templadas. Con este tratamiento, que consiste en un calentamiento a temperatura

inferior a la crítica A_1 . Se disminuye la dureza y resistencia de los aceros templados, se eliminan las tensiones creadas en el temple y se mejora la tenacidad, quedando además el acero con la dureza o resistencia deseada.

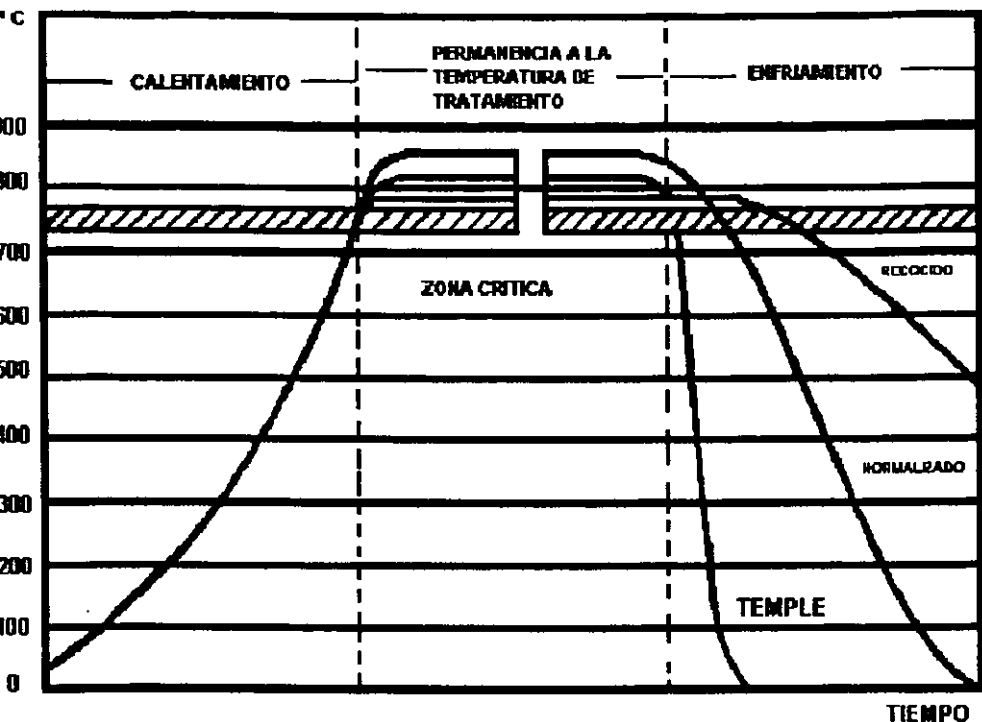


Figura 1.3. Representación esquemática del recocido, normalizado y temple de un acero.

CAPITULO 2

MEMORIA DE CALCULO

Para comenzar el proyecto deben ser considerados ciertos datos de diseño, como a que tipo de tratamiento térmico será sometido el acero, las dimensiones de los lingotes que serán sometidos al efecto del calor, las temperaturas de operación, la forma de cargar y descargar, etc., antes de proceder a realizar algún cálculo.

2.1. Material de proceso.

El tratamiento térmico varía considerablemente entre los aceros aleados y los aceros al carbono, dependiendo del contenido de elementos de aleación y de carbono.

Los aceros de bajo carbono son más fáciles de tratar que los aceros aleados o de alto carbono, particularmente, por su baja resistencia mecánica a temperaturas elevadas.

A medida que aumenten los contenidos de carbono y de aleación, la resistencia del metal a cualquier temperatura aumenta también, junto con los requisitos del proceso al que es sometido.

Los mejores resultados para los tratamientos térmicos dependen en su mayor parte del control de la temperatura al calentar las piezas. El horno deberá estar equipado con un controlador que puedan mantener la temperatura en un rango de $\pm 10^{\circ}\text{C}$.

De tal forma que el horno debe ser capaz de elevar la temperatura del acero hasta la temperatura recomendada para el tratamiento térmico al cual serán sometidas las piezas.

El tipo de piezas que serán calentadas son: Aceros de bajo carbono y aceros de alto carbono y aceros aleados.

El primer paso en el tratamiento térmico del acero es calentar las piezas a temperatura (la tabla 2.1 tiene valores orientativos para el tratamiento térmico), en o por encima del intervalo crítico para formar austenita. En la mayoría de los casos, la rapidez de calentamiento a la temperatura deseada es menos importante que otros factores en el ciclo del tratamiento térmico. Los materiales altamente esforzados producidos por trabajo en frío deben calentarse más lentamente que los que se hallan libres de esfuerzo para evitar distorsión. Por lo general se hará menos daño al acero al utilizar una rapidez de calentamiento tan lenta como sea práctico.

2.1.1. Efecto de la temperatura.

El espaciamiento de las láminas de perlita es función de la temperatura. Cuanto más baja es la temperatura de formación de la perlita menor es el espacio interlaminar, fenómeno que repercute en las propiedades mecánicas de las piezas de acero.

La difusión del carbono para formar las colonias de perlita ocurre a través de la austenita, de la ferrita o del límite de intercara austenita-perlita, como se muestra en la figura 2.4. La mayor parte de las teorías sobre la formación de la perlita se basan en la posibilidad de que la difusión sea casi enteramente a través de la austenita pues mientras que el contenido de carbono en la ferrita es extremadamente bajo la velocidad de difusión en la ferrita es aproximadamente 100 veces mayor que en la austenita.



Figura 2.4. La Difusión del carbono

El flujo de átomos viene originado por un gradiente de concentración que se produce en el lado austenítico de la intercara. Cuando los átomos de hierro cruzan la intercara para formar ferrita, los átomos de carbono regresan a la austenita delante de la ferrita. Al propio tiempo, en las posiciones de la intercara donde se forma la cementita, absorben un gran número de átomos de carbono ocasionando que en la austenita situada enfrente de la cementita se agote localmente el carbono.

Tabla 2.1. Valores orientativos para tratamientos térmicos.

cer o ISI No.	Normalizar		Recocer		Templar	
	°C	°F	°C	°F	°C	°F
010	900 a 955	1650 a 1750	540 a 730	1000 a 1350	900 a 925	1650 a 1700
020	900 a 955	1650 a 1750	540 a 730	1000 a 1350	870 a 910	1600 a 1675
030	870 a 915	1600 a 1675	675 a 745	1250 a 1375	855 a 900	1575 a 1650
035	855 a 900	1575 a 1650	855 a 900	1575 a 1650	830 a 870	1525 a 1600
040	855 a 900	1575 a 1650	845 a 885	1550 a 1625	815 a 855	1500 a 1575
045	845 a 900	1550 a 1650	830 a 870	1525 a 1600	800 a 845	1475 a 1550
050	845 a 900	1550 a 1650	830 a 870	1525 a 1600	800 a 845	1475 a 1550
060	830 a 885	1525 a 1625	815 a 855	1500 a 1575	790 a 845	1450 a 1550
070	830 a 885	1525 a 1625	815 a 855	1500 a 1575	790 a 845	1450 a 1550
080	830 a 885	1525 a 1625	815 a 855	1500 a 1575	790 a 845	1450 a 1550
095	830 a 885	1525 a 1625	815 a 855	1500 a 1575	790 a 845	1450 a 1550

2.1.2. Influencia de los elementos de aleación.

El níquel y manganeso retardan la formación de perlitita y las transformaciones intermedias con bastante uniformidad a todas las temperaturas. El cobre y el silicio se comportan de modo parecido al níquel en sus efectos sobre las transformaciones isotérmicas pero el efecto retardador es mucho menor. El cobalto parece ser que aumenta las velocidades de las transformaciones a todas las temperaturas.

El molibdeno y el cromo retardan intensamente la reacción perlítica, pero afectan en grado mucho menor a las reacciones intermedias. Estos elementos también elevan la zona de temperaturas en que se produce la reacción perlítica y disminuyen la zona de temperatura de las reacciones intermedias.

2.1.3. Tiempo de calentamiento.

El tiempo que se mantenga la pieza a temperatura máxima debe ser tal que se obtenga una temperatura uniforme en toda la sección transversal del acero. Debe tenerse cuidado en evitar una prolongación indebida a dicha temperatura porque esto puede dar por resultado un crecimiento inconveniente del grano, la formación de escamas o la descarburiación de la superficie. Una cifra práctica que se utiliza con frecuencia para determinar el tiempo total que ha de estar una pieza en el horno caliente es de treinta minutos por cada 2.5 cm de espesor de la sección transversal. Cuando el acero haya alcanzado una temperatura uniforme, la velocidad de enfriamiento debe ser tal que desarrolle la estructura deseada; así deben usarse velocidades lentas de enfriamiento (enfriado en el horno o al aire) para desarrollar las estructuras perlíticas más blandas, y velocidades rápidas (enfriando brusco por inmersión) para formar las estructuras martensíticas duras.

2.2. Dimensiones de las piezas.

Es importante tomar en consideración las dimensiones de los lingotes que serán calentados, ya que es uno de los factores que influyen directamente en el espacio útil que se deberá tener dentro del horno, ya que a partir de esto se podrá saber que dimensiones tendrá el horno en su totalidad.

Dentro del horno se ha pensado introducir seis piezas como la que se muestra en la figura 2.5. con un peso de 2.3 kg (5.072 lb) cada uno, con lo que se tendrá una carga máxima de 14 kg.

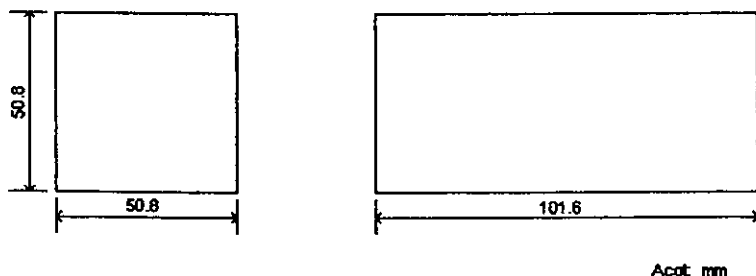


Figura 2.5. Dimensión de la pieza.

Con los anteriores datos de calentamiento y de carga máxima se determinará la potencia térmica para calentar los 14 kg de acero a la temperatura que se requiera trabajar para desarrollar alguno de los tratamientos térmicos ya mencionados.

2.2.1. Acomodamiento entre piezas dentro del horno.

El espaciado entre piezas y el espacio entre la pared lateral y la pieza, el primer espaciado se establece de la gráfica (figura 2.6.); donde la superficie efectiva de la exposición en función de la separación entre las piezas expresadas como un porcentaje del ancho o diámetro de las partes.

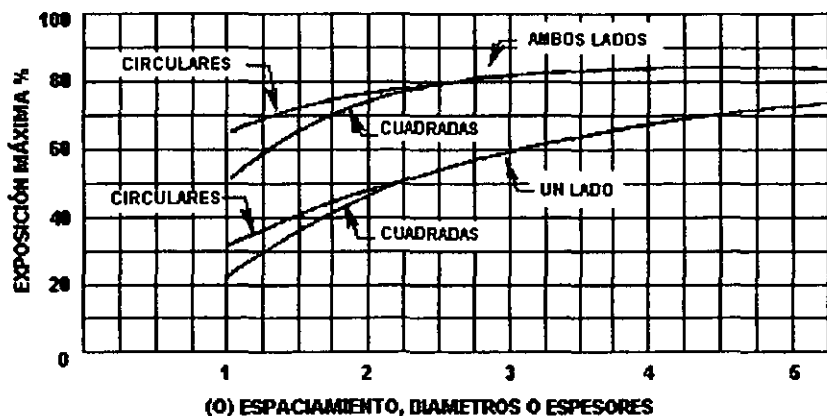


Figura 2.6. Gráfica para determinar el acomodamiento de las piezas dentro del horno.

Seleccionando 1.5 % de separación, la distancia entre centros de las partes será para un ancho de la pieza 50.80 mm (2 pulg).

$$\text{Espaciamiento} = 0.015 \times 50.80 = 76.20 \text{ mm (3.00 pulg)}$$

$$\text{Espacio entre piezas} = 76.20 - 50.80 = 25.40 \text{ (1.00 pulg).}$$

Este espaciado de la gráfica (figura 2.7.), corresponde a una superficie de exposición de aproximadamente 35 %.

Teniendo en cuenta esta separación entre lingotes, se puede determinar las dimensiones interiores del hogar del horno considerando los espacios necesarios para que se puedan manipular las piezas dentro del horno sin dañar las paredes interiores

Por lo tanto la distancia que hay entre la pared lateral a la pieza es de 50.80 mm (2 pulg) como se muestra en la figura 2.7.

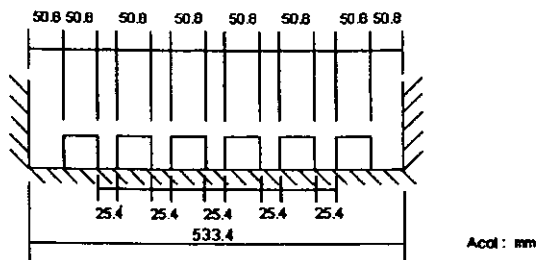


Figura 2.7. Dimensionamiento de las piezas dentro de horno.

Para poder determinar lo largo y la altura del horno se tiene que suponer, que tipo de quemador que se va a utilizar en este caso se selecciona un Pyronics SW-1 el cual es un quemador de 177.8 mm (7 pulg), siendo una de sus características que debe dejarse en su alrededor una distancia de 457.20 mm (18.00 pulg).

Ahora ya se puede determinar el largo y la altura del horno, quedando como se muestra en la figura 2.8., donde se ve que los 457.20 mm (18.00 pulg) se toman a partir del piso del horno hacia arriba esto en relación con la orilla y a lo largo se deja la misma distancia de la orilla de la pared lateral

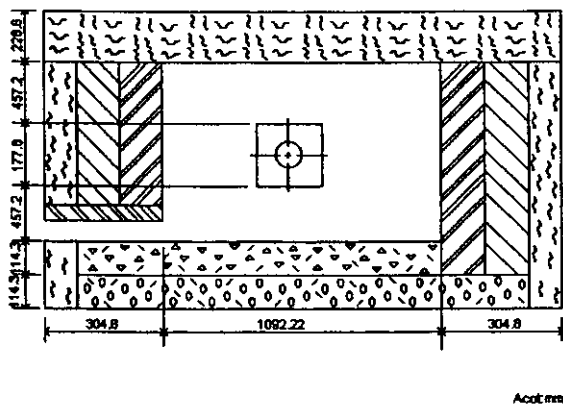
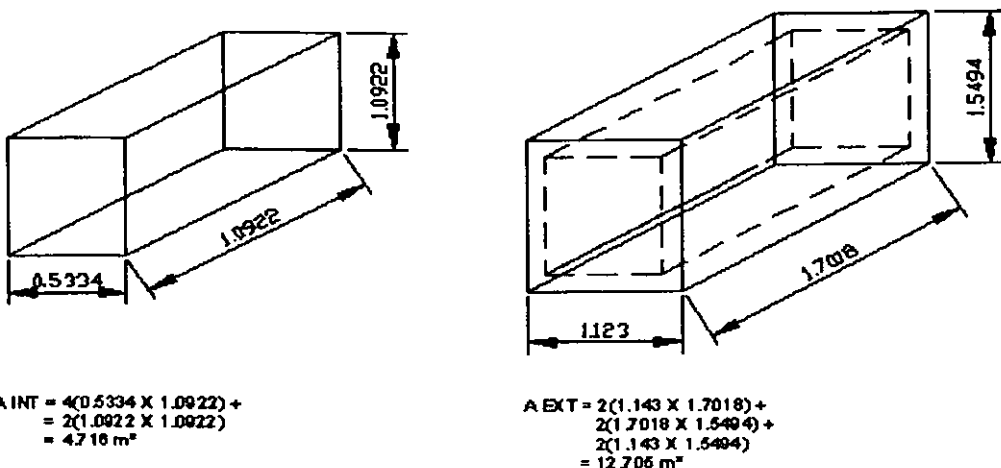


Figura 2.8. Dimensiones interiores del horno.

Los quemadores no se colocan de frente uno al otro sino que uno debe ser desplazado hacia arriba. En este caso el quemador que se tomará como base se encuentra a 546.1 mm (21.5 pulg) con referencia al piso del horno, este se localiza en la pared izquierda y en la pared derecha se encuentra el otro quemador a una distancia del piso de 622.3 mm (24.5 pulg) esto se debe a la circulación de los gases dentro del horno.

Por lo tanto las dimensiones del horno en su interior y exterior se representan en la figura 2.9.



Acotación : m

Figura 2.9. Dimensiones del horno.

2.3. Refractarios y aislantes.

Los materiales refractarios y aislantes, no solo deben resistir altas temperaturas, sino también los efectos destructores de los gases de combustión. Cuando se diseña un arreglo de refractarios tienen que ser considerados tres aspectos importantes que son:

- A) Pérdidas de calor a través de las paredes.
- B) Almacenamiento de calor en la pared.
- C) Temperatura en la superficie exterior de la pared.

Tradicionalmente se pensaba que en una pared gruesa hacia disminuir el flujo de calor. Sin embargo las paredes gruesas almacenan una gran cantidad de calor y al

mismo tiempo hace que las operaciones de calentamiento y enfriamiento requieran tiempos mayores.

Actualmente los hornos utilizan nuevos productos que permiten arreglos considerablemente más delgados ya que éstos almacenan menos calor y minimizan la expansión.

A continuación se calculará, utilizando tres capas de revestimiento entre aislante y refractario ya que, en la práctica, se han logrado resultados satisfactorios tanto en la transmisión de calor como el mantenimiento del material refractario, de acuerdo con los fabricantes de hornos.

2.3.1. Selección del refractario y aislante.

Para determinar la calidad, el tipo y espesor de aislante y refractario es conveniente seguir varios pasos que son repetitivos para cada capa del revestimiento. En dicha secuencia de pasos será necesario utilizar la gráfica de pérdidas de calor y temperatura de cara fría (figura 2.10.) y la tabla 2.2.

De tal forma que al explicar la selección del refractario y el aislante para una de las paredes queden comprendidos los pasos para las demás paredes laterales.

El método para determinar la temperatura en la cara fría se aplica a continuación utilizando la gráfica (figura 2.10.), la cual tiene paredes de ladrillo refractario con aire circundante a una temperatura de 20°C (68°F) y velocidad igual a cero. La tabla 2.2. en lista las pulgadas equivalentes de espesor en ladrillo refractario para otros refractarios y placas de materiales aislantes.

Se iniciará el cálculo con una temperatura en la cara caliente del refractario de 1316 °C (2400°F) la cual es mayor a la temperatura máxima de operación que es de 1280 °C (2336°F) de tal manera que se proteja de alguna forma un exceso de temperatura, moderado.

Tabla 2.2. Materiales para diseño del horno

a) Pulgadas equivalentes de refractario.

Pulg. Equivalentes de ladrillo refractario aprox.	Temperatura promedio del refractario °C (°F)		
	Abajo 538 (1000)	Entre 538 – 1093 (1000 – 2000)	Arriba 1093 (2000)
<u>Ladrillo refractario</u> Ladrillo refractario duro	1.00	1.00	1.00
<u>Concreto alta densidad</u> Mg - 30, Concreto Mizzou	1.50	1.70	1.85
<u>Ladrillo aislante</u> T-20 1093 °C. Max. T-23 1260 °C. Max. T-26 1427 °C. Max.	4.45 4.20 3.70	4.30 4.10 3.70	— 3.85 3.60
<u>Aislamientos</u> Aislamiento colado # 20 Aislamiento colado # 22 Block aislante 1038 °C. Max. Block lana mineral J-M Superex 2000	3.87 4.15 12.5 14.5 9.2	4.42 4.80 — — —	— — — — —

i) Propiedades de ladrillos aislantes.

Productos	Grupo según N.O.M.	Temperatura Máxima recomendada °C	Densidad g / cm ³	Compresión en plano Kg / cm ²
T - 16	85	870	0.52	14.28
T - 20	110	1095	0.64	21.25
T - 23	125	1260	0.77	28.42
T - 26	140	1425	0.83	42.63
T - 28	150	1535	0.93	56.70

c) Espesores recomendados a diversas temperaturas de Block de lana mineral.

Temperatura °F	Espesor pulg.
100 - 200	1
201 - 300	1.5

d) Concretos refractarios densos.

Productos	Temperatura Máxima Recomendada °C	% de Alúmina Promedio	Módulo de Ruptura kg / cm ²	Compresión en Plano kg / cm ²	Densidad kg / cm ³
KS -4 M	1400	42	35 - 56	105 -160	1800
Concreto Mizzou	1650	62	35 - 49	140 - 210	2200
Greencast 94 M	1885	95	77 - 120	281 - 422	2585

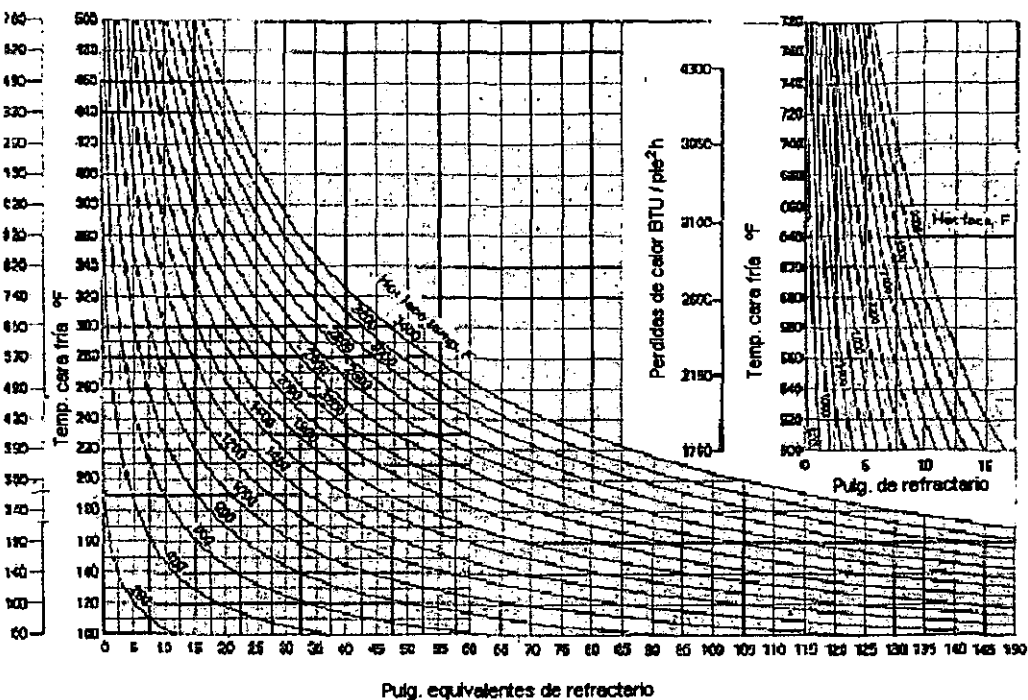


Figura 2.1 Gráfica para determinar la temperatura a través de las paredes

2.3.2. Paredes laterales.

Para efecto de cálculo, se utilizará un arreglo de revestimiento, como el que se ilustra en la figura 2.11. con un espesor total de 304.80 mm (12 pulg.).

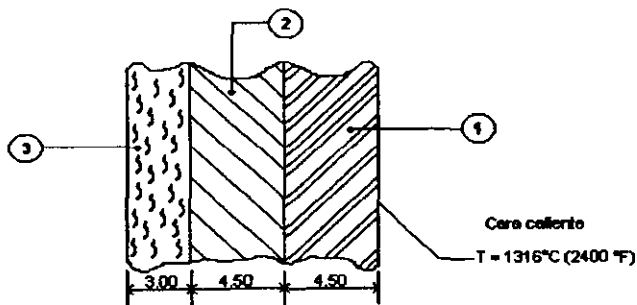


Figura 2.11. Recubrimiento de las paredes.

De acuerdo a dicha figura, el material que está expuesto a mayor temperatura es el marcado con el número 1, esta temperatura de 1316°C (2400°F); de la tabla 2.2. se seleccionara un ladrillo refractario duro.

El ladrillo que se utilizará se conoce como estándar, lo que indica que sus dimensiones son 114.30 x 63.50 x 228.6 mm (4.5 x 2.5 x 9 pulg.) en primer lugar, y en segundo que no son de fabricación especial. La temperatura en la cara caliente del refractario será 1316°C (2400°F), que es una temperatura menor a la máxima recomendada por los fabricantes que es de 1425°C (2579°F).

Utilizando la tabla 2.2. se determinan las pulgadas equivalentes de ladrillo refractario en el rango de temperatura estimada:

Para el ladrillo refractario duro con más de 1093°C (2000°F) se tiene 1 pulgada equivalente de refractario (figura 2.11. número 1).

Ahora se multiplican las pulgadas equivalentes de refractario por pulgadas reales se obtiene:

$$4.50 \times 1.0 = 4.50 \text{ pulg (114.30 mm)}$$

El ladrillo aislante T-23 para arriba de 538°C (1000°F) y entre 1093°C (2000°F) se tienen 4.1 pulgadas equivalentes de refractario (figura 2.11. número 2).

Se vuelve a multiplicar las pulgadas equivalentes de refractario por pulgadas reales se obtiene:

$$4.50 \times 4.10 = 18.45 \text{ pulg (468.63 mm)}$$

Como última capa es el block de lana mineral que se determina por debajo de 538°C (1000°F), de donde tenemos 14.5 pulgadas equivalentes de refractario (figura 2.11. número 3).

Se vuelve a multiplicar pulgadas equivalentes de refractario por pulgadas reales obteniendo:

$$3 \times 14.50 = 43.50 \text{ pulg. (1104.90 mm)}$$

Sumando las pulgadas que obtenidas tenemos:

$$4.50 + 18.45 + 43.50 = 66.45 \text{ pulg. (1687.83 mm)}$$

Ahora utilizando la gráfica mostrada en la figura 2.10. se parte de las pulgadas de refractario, en la parte baja de la gráfica se traza una línea vertical hasta intersectar la

temperatura de cara caliente 1316°C (2400°F). Ahora trazamos una línea horizontal hacia la izquierda y leemos la temperatura de la cara fría que en este caso es:

Temperatura de la cara fría: 90.55°C (195°F).

Para una superficie superior, como el techo, la temperatura exterior será menor para una superficie inferior, la temperatura exterior será mayor que en las paredes verticales, esto se debe al efecto de la convección natural del aire del medio ambiente.

2.3.3. Techo.

Para tener un buen arreglo es necesario tomar en consideración un aspecto muy importante que es la distancia entre una pared con respecto a su opuesta, en este caso el techo estará recargado sobre las paredes laterales como se muestra en la figura 2.12, el techo será construido de fibra cerámica (Cerablanket de 128.226 kg / m³ de densidad), el cual se sujetara mediante tubos de acero inoxidable de alta resistencia. Los cuales serán fijos a la lámina de la carcaza.

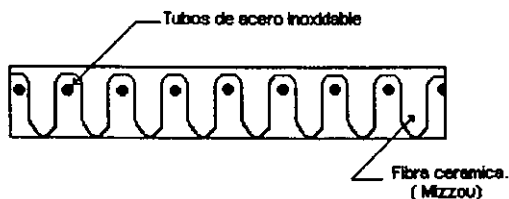


Figura 2.12. Recubrimiento de techo

2.3.4. Piso.

Debido al tipo de operación de carga y descarga del horno, el trabajo mecánico al cual va a estar sometido el piso, será necesario colocar un concreto colado que reúna los siguientes requisitos:

- A) Resistencia a la temperatura.
- B) Desgaste mínimo.
- C) Resistencia a la compresión.

En este caso se utilizará un concreto colado (Mizzou, 2200 kg / m³ de densidad) en lugar de ladrillos, lo cual se debe en gran parte a que el costo por mano de obra es

menor y que se evita el problema de un posible desprendimiento de tabiques a causa del uso. Al utilizar un arreglo monolítico, se evitan básicamente problemas de mantenimiento ya que el horno es de tipo caja, las piezas se apoyan directamente sobre el piso, por lo tanto este tiene que ser capaz de soportar el peso. Abajo del concreto refractario se coloca un concreto aislante (SK-7 M 735 kg / m³ de densidad), este por sus características soportara el peso del concreto refractario y el de las piezas. El arreglo básico se muestra en la figura 2.13.

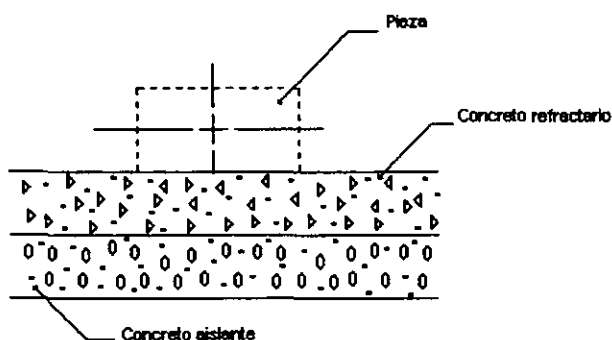


Figura 2.13. Recubrimiento del piso.

2.3.5. Puerta.

La puerta del horno será de tipo guillotina, es decir, su abatimiento se hará en forma siempre vertical, o sea de arriba hacia abajo.

El material del cual estará recubierta la puerta en su parte interior será de fibra cerámica (cerablanket 128.226 kg / m³ de densidad) con un espesor de 0.15 m. El accionamiento se llevará acabo por medio de poleas que actúan conjuntamente a un contrapeso para mantener la puerta arriba se muestra en la figura 2.14.

Al aumentar el número de pesas éstas tiran del cable de acero que pasa por las poleas que están ubicadas en la parte central del horno, una adelante y la otra atrás; tienen la función de servir de guías para el cable el cual sujeta a su vez a la puerta por medio de una argolla como se muestra en la figura.

Como se puede ver el funcionamiento de la puerta hace que estas sean relativamente ligeras para que la operación de abrir y cerrar se efectúe con la menor dificultad.

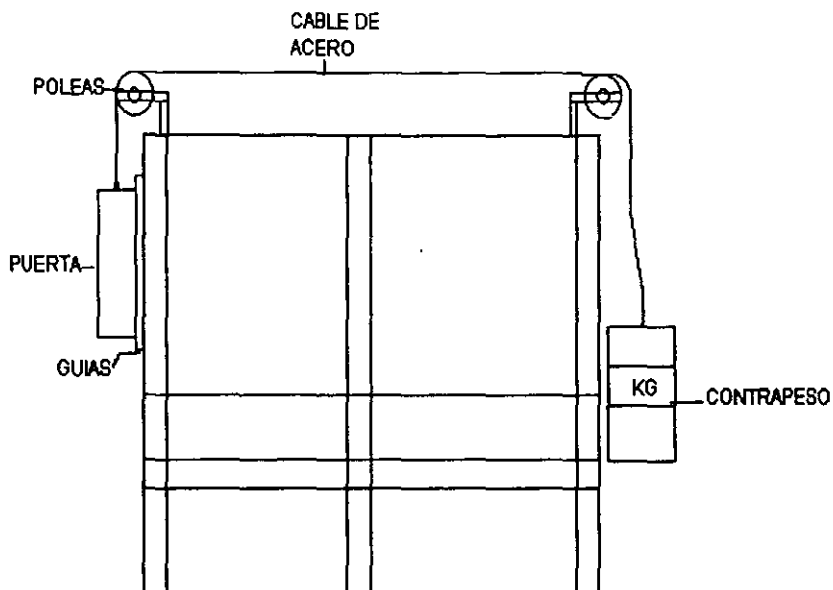


Figura 2.14. Mecanismo de la puerta.

2.3.6. La carcaza.

Es de gran importancia, el que la carcaza tenga una construcción adecuada capaz de resistir todo el peso del refractario, más la carga en la base del horno. La placa de acero que soporta una carga, la cual no variara en su forma en ningún momento a menos que la placa este expuesta al calor, en éste caso del horno. El punto de cedencia del material variara con respecto a la temperatura y el tiempo, es decir que a mayor temperatura y mayor tiempo de exposición en presencia de calor, la placa tiende a deformarse o lo que comúnmente se conoce como abombamiento. Por ésta razón, la carcaza deberá ir perfectamente reforzada para evitar que el horno se deforme. Una deformación considerable en la carcaza trae como consecuencia la inminente caída del material refractario.

2.4. Pérdidas de calor de las paredes (laterales, techo y piso).

Siempre que exista una diferencia de temperaturas entre dos puntos, el calor fluirá del punto más caliente al más frío para equilibrar la temperatura. Una barrera aislante entre los dos puntos podrá tener, pero no completamente, el flujo de calor.

Los aislantes ligeros (ladrillos aislantes y fibra cerámica) tienen una capacidad aislante igual a los ladrillos refractarios duros y más gruesos, que eran usados tradicionalmente. El uso de refractarios ligeros se ha incrementado rápidamente; sin embargo, debido a su baja resistencia y su estructura porosa, no pueden estar en contacto con metales fundidos o en donde estén sujetos a cargas pesadas o abusos mecánicos.

Una vez que el horno ha alcanzado su temperatura de operación y sus paredes estén, saturadas de calor, las pérdidas a través de las paredes serán constantes durante cualquier período de tiempo. Estas pérdidas se conocen como fijas o pérdidas en estado estable.

Las pérdidas a través de las paredes, se calculan de acuerdo a la superficie interior del horno. Según la figura 2.9. donde nos muestra las dimensiones.

Después de haber sumado las pulgadas equivalentes se obtuvieron las pulgadas equivalentes de todas las paredes

$$\left| \begin{array}{l} \text{Espesor equivalente} \\ \text{de la pared} \end{array} \right| = 66.45 \text{ pulg. equivalentes}$$

Esto nos representa las pulgadas equivalentes totales debido a que la carga es considerada como pequeña y en base a esto no fue necesario determinar las pulgadas equivalentes en piso, techo y puerta por separado.

Volviendo a la gráfica (figura 2.10.) se calculan las pérdidas a través de las paredes por unidad de área las cuales son:

$$\left| \begin{array}{l} \text{Pérdidas de} \\ \text{Calor} \end{array} \right| = 914.834 \text{ W / m}^2 \text{ (290 BTU / pie}^2 \text{ h)}$$

Se tiene una temperatura de 93°C (198°F), se tuvo que aumentar un 6% más en la temperatura obteniéndose una temperatura de 99°C (210°F), donde:

$$\left| \begin{array}{l} \text{Perdidas de} \\ \text{Calor} \end{array} \right| = 1024.725 \text{ W / m}^2 \text{ (325 BTU / pie}^2 \text{ h)}$$

Este aumento se debe a que posteriormente nos ayudara para la selección de los quemadores y del ventilador.

El total de pérdidas a través de las paredes (Q_p) es:

$$Q_p = \left| \begin{array}{l} \text{Perdidas de calor} \\ \text{del espesor equivalente} \end{array} \right| \times \left| \begin{array}{l} \text{Área total} \\ \text{del exterior} \end{array} \right|$$

$$Q_p = 1024.725 \text{ W / m}^2 \times 12.705 \text{ m}^2$$

$$Q_p = 13019.13 \text{ W (44418.730 BTU / h)}$$

2.5. Calor suministrado a la carga.

Ahora falta saber cuanto calor se le debe suministrar a la carga para poderla elevar de la temperatura ambiente promedio de 21°C (70°F) hasta la temperatura que el proceso requiere. Por último se calcule la cantidad de calor almacenada en las paredes y dar por concluido el balance térmico.

La cantidad de calor que la carga requiere es:

$$Q_c = W * C_p * \Delta t$$

Donde:

Q_c = Calor en la carga (Joule).

C_p = Calor específico del acero (Joule / kg °C).

Δt = Diferencial de temperatura (°C).

W = Peso de la carga (kg).

Por lo tanto:

$$V = 14 \text{ kg}$$

$$c_p = 690.65 \text{ J / kg } ^\circ\text{C}$$

$$t = ((1316 - 21) ^\circ\text{C}) = 1295 ^\circ\text{C}$$

Aplicando la formula se obtiene que:

$$Q_c = (14 \text{ kg}) * (690.65 \text{ J / kg } ^\circ\text{C}) * (1295 ^\circ\text{C})$$

$$Q_c = 1252148.5 \text{ J}$$

El tiempo de calentamiento de acuerdo con lo que se había dicho en el punto 2.1.3. será de 1 h.

$$Q_c = 12552148.5 \text{ J} = 3478.1903 \text{ W} * \text{h} / 1 \text{ h} = 3478.1903 \text{ W}$$

2.6. Potencia térmica instalada.

Un balance térmico, es el establecer o contabilizar, en donde se utiliza el calor en un horno.

Una forma simple de un balance térmico esta expresado en la siguiente ecuación:

$$\left| \begin{array}{c} \text{Potencia térmica} \\ \text{instalada} \end{array} \right| = \left| \begin{array}{c} \text{Perdidas} \\ \text{suministrado} \end{array} \right| \div \left| \begin{array}{c} \text{Calor útil} \\ \text{suministrado} \end{array} \right|$$

Un diagrama esquemático que representa un balance térmico para cualquier tipo de combustible o forma de calentamiento de un horno, se muestra en la figura 2.15.

La conversión de la energía química o eléctrica a calor, nunca es al 100% de eficiencia. Debido a la naturaleza del proceso de conversión, parte de la energía es inevitablemente perdida. Cuando un combustible como el gas natural, propano o combustible liquido es quemado con las cantidades químicamente correctas de aire, los productos de la combustión incluyen vapor de agua, nitrógeno y bióxido de carbono. El calor generado por la combustión eleva la temperatura de los gases cerca de 1930 °C (3500°F). Parte de ese calor, es transmitido al horno; si se dejan permanecer en el horno

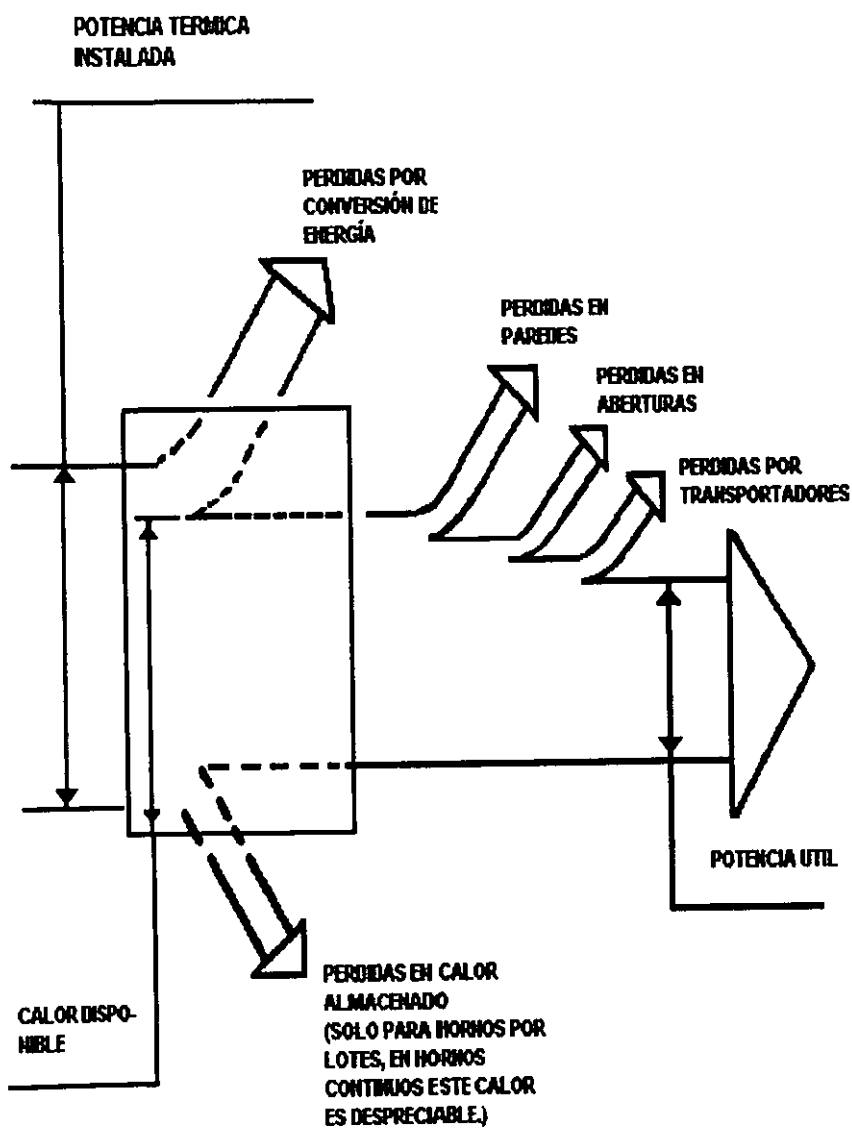


Figura 2.15. Balance térmico.

o suficiente, éste igualará su temperatura con la de los gases. El calor que llevan los gases de combustión son significativamente el 25% de la potencia térmica instalada a una temperatura de gas de 427°C (800°F), y el 50% a una temperatura de 1010°C (1850°F). Las pérdidas por conversión, de energía aumentan con la temperatura del horno.

La porción que permanece de la potencia térmica instalada, después de las pérdidas por los gases de combustión, se llama calor disponible y es la energía que deberá calentar la carga (calor útil suministrado), además de compensar las pérdidas en paredes, aberturas y almacenadas en paredes. El calor disponible, usualmente se expresa como un porcentaje de la potencia térmica instalada o como energía por unidad de tiempo.

Debido a que las pérdidas por conversión de energía varían con la temperatura de los gases, también lo hace el calor disponible. Este también varía con la relación aire-combustible. En la forma ideal aire-combustible, el calor disponible es máximo para cualquier temperatura en los gases de combustión. Si se suministra un exceso de aire acarrea menor cantidad de calor disponible. En los hornos existentes se puede conocer el calor disponible mediante una gráfica de eficiencia térmica, se miden, la temperatura de los hornos así como el contenido de oxígeno a la salida del quemador, como una alternativa para conocer el calor disponible podemos considerar la tabla 2.3.

Es de notar, que el tipo de quemador es parte importante en la eficiencia del sistema.

$$\left| \begin{array}{l} \text{Calor} \\ \text{disponible} \end{array} \right| = 35\%$$

La potencia térmica neta (P_N) es igual a la suma de todas las cantidades de calor que se obtuvieron anteriormente, las cuales son:

$$P_N = Q_P + Q_C$$

$$P_N = 13019.13 \text{ W} + 3478.1903 \text{ W} = 16497.320 \text{ W} (56285.63 \text{ BTU} / \text{h})$$

Tabla 2.3. Eficiencia de los Quemadores.

TIPO DE QUEMADOR	EFICIENCIA TÍPICA %
ATMOSFÉRICO	30-35
MEZCLA EN BOQUILLA (SIN RECUPERACIÓN)	35-50
MEZCLA EN BOQUILLA (RECUPERADOR TIPO CHIMENEA)	50-65
MEZCLA EN BOQUILLA (RECUPERADOR TIPO TAPÓN)	60-65
SER	65-70
RESISTENCIAS ELÉCTRICAS	80-99

Sustituyendo los valores en la ecuación del balance térmico de la forma siguiente:

$$\text{Potencia térmica instalada} = 16497.320 \text{ W} / 0.35$$

$$\text{Potencia térmica instalada} = 47135.2 \text{ W (160816.10 BTU / h)}$$

La potencia térmica instalada es la máxima cantidad de energía por unidad de tiempo, que se deberá liberar para cumplir con los requisitos que nuestro propósito necesita.

2.7. Puertos para humos en los hornos.

El volumen de gases se puede obtener de tablas o estimar aproximadamente, asumiendo que cada 95 BTU netos de potencia consumida produce un pie cúbico de humo a 16 °C (60°F).

En la mayoría de los hornos industriales para calefacción, la atmósfera dentro del horno es un factor de importancia, por lo que se usa una presión positiva para prevenir la infiltración. El propósito de los puertos y chimeneas, no es tanto la creación de un tiro como el desalojo seguro de los humos.

Los puertos deben situarse de tal forma, que los gases de combustión no recorran un circuito corto del quemador al puerto, sino que circulen lo suficiente para calentar la carga.

Los puertos localizados en o cerca del hogar generalmente son más satisfactorios que los colocados cerca o en el techo. Esta última condición no sólo facilita los trayectos cortos sino que tiende a facilitar que la cámara de combustión actúe como una chimenea, la cual succionará el aire frío al fondo del horno. La circulación es un factor muy crítico en los procesos de baja temperatura en los que la mayoría del calor se transmite por convección en comparación con los procesos de alta temperatura en los que la mayoría del calor se transmite por radiación.

Para dimensionar él o los puertos de forma práctica y conveniente utilizaremos el siguiente método.

En la tabla 2.4. se encuentran los gastos para las velocidades máximas permisibles através de puertos construidos en dimensiones de ladrillos refractarios comunes y para una presión interna no mayor de 0.51 mm. (0.02 pulg. Columna de agua), el cual es un valor comúnmente aceptado.

En cualquier puerto, una gran parte de las pérdidas de presión, se debe a la pérdida de entrada, así que es posible simplificar el procedimiento para dimensionar los puertos si se añade posteriormente un factor de seguridad que tome en cuenta las pérdidas por cambios de dirección y de fricción en las paredes.

Considerando la pérdida a la entrada como una pérdida en orificio, en términos de gasto de masa, la descarga permisible de la potencia instalada por pulgada de puerto es:

$$\text{Potencia instalada} / h / \text{pulg}^2 = 55 \times 10^4 K \Delta_p W$$

En donde:

K = Coeficiente de flujo para la entrada al puerto.

W = Densidad del humo en Kg / m³ a la temperatura de los humos.

Δ_p = Es la presión dentro del horno en mm de columna de agua más el tiro que provoca una chimenea según la siguiente formula:

$$D = 1.01467 \times H \left[1 - \left[\frac{W_G}{W_A} \right] \right] \times \frac{520}{T_s + 460}$$

Donde:

H = Altura efectiva de la chimenea en metros.

D = Tiro teórico en mm. De columna de agua.

T_s = Temperatura media en la chimenea en °C.

W_G = Densidad de los humos.

W_A = Densidad del aire.

Tabla 2.4. Cantidad de gases por ducto.

Temperatura Promedio en el ducto ° F	Altura del ducto en pies	DIMENSIONES EN PULGADAS			
		4.5 x 4.5 (20.25)	4.5 x 9 (40.5)	9 x 9 (81)	18 x 18 (324)
1200	3	1.95	3.97	8.11	32.8
1200	8	2.53	5.23	10.92	45.4
1200	20	3.21	6.89	14.86	64.3
1600	3	2.22	4.52	9.23	37.6
1600	8	2.91	6.05	12.61	52.4
1600	20	3.71	7.96	17.18	74.2
2200	3	2.57	5.26	10.75	43.6
2200	8	3.39	7.09	14.74	61.4
2200	20	4.31	9.29	20.15	87.4

La temperatura media de la chimenea puede aproximarse como la temperatura a la mitad de la distancia entre la derivación al horno y la boca de la chimenea.

La razón W_G / W_A es usualmente cercana a 1.0 según la firma " North. American Mfg. Co." con datos de tipo teórico calculado con diferentes temperaturas medias.

Es práctica común sobredimensionar los puertos debido a variables no previstas, lo que se corrige fácilmente cerrando parcialmente la boca del puerto con un ladrillo, que permite se cuente con cierta facilidad para ajustar la presión del horno.

Las fórmulas anteriores y cifras aproximadas presuponen que el combustible se quema en relación estequiométrica con el aire. Si se usa aire en exceso en fuego alto se debe multiplicar el valor de la potencia térmica / h / pulg². Por los siguientes factores por exceso de aire.

Tabla 2.5. Factores de corrección en el exceso de aire.

Exceso de Aire %	Factores de Corrección %
25	0.88
50	0.73
75	0.63
100	0.44
150	0.44
200	0.37
300	0.28
400	0.22

2.7.1. Cálculo de ductos para desalojo.

De acuerdo a la teoría de desalojo de humos, se procede al cálculo de los ductos de humos para el horno:

El volumen de gases calientes es:

Con una temperatura de gases promedio igual a:

$$T_p = 1204 \text{ }^\circ\text{C} \text{ (2200 }^\circ\text{F)}$$

La potencia térmica bruta es, de acuerdo a los datos obtenidos anteriormente es de:

$$P_T = 52752.6 \text{ W (180 000 BTU / h)}$$

Entonces aplicando la fórmula siguiente:

$$\left| \begin{array}{l} \text{pie}^3 \text{ x s de humos} \\ \text{a temperatura t} \end{array} \right| = \frac{(\text{BTU} / \text{h}) \text{ X } (\text{t} + 460)}{177\,500\,000}$$

sustituyendo:

$$\left| \begin{array}{l} \text{Gasto de} \\ \text{Gases} \\ \text{calientes} \end{array} \right| = \frac{(180\,000) (2\,200 + 460)}{177\,500\,000}$$

$$\left| \begin{array}{l} \text{Gasto de} \\ \text{gases} \\ \text{calientes} \end{array} \right| = 2.6975 \text{ pie}^3 / \text{s} = 0.0763 \text{ m}^3 / \text{s}$$

Al efectuar el cociente:

$$\left| \begin{array}{l} \text{Número de} \\ \text{Ductos.} \end{array} \right| = \frac{(\text{Gasto de gases calientes})}{(\text{Gasto por ducto})}$$

Con ayuda de la tabla 2.4. por el método de tanteo se obtiene que para una temperatura de 1 204 °C (2 200 °F) con un ducto de 1.828 m (6 pies) de longitud y 0.1143 m x 0.1143 m (4.5 pulgs x 4.5 pulgs) de tamaño del puerto, se pueden desalojar 0.4171 m³ / s (14.74 pies³ / segundo de gases calientes).

$$\left| \begin{array}{l} \text{Gasto por Ducto} \end{array} \right| = 6.358 \text{ pie}^3 / \text{s} = 0.1799 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$\left| \begin{array}{l} \text{Número de} \\ \text{Ductos.} \end{array} \right| = \frac{0.0763 \text{ m}^3 / \text{s}}{0.1799 \text{ m}^3 / \text{s}}$$

$$\left| \begin{array}{l} \text{Número de} \\ \text{Ductos.} \end{array} \right| = 0.4241 \text{ ductos}$$

Ahora 0.4241 ductos de las dimensiones mencionadas anteriormente son capaces de manejar:

Gasto	= (Ductos) x (Gasto por producto)
Máximo de	
Gases	
Calientes	

Gasto	= 0.4241 x 0.1799 = 0.07262 m ³ / s	
Máximo de		
Gases		= 2.6964 pie ³ / s
Calientes		

Como se aprecia, este gasto es mayor al requerido y así se está dentro de las recomendaciones de sobredimensionamiento en los ductos de desalojo de humos.

Pero demasiado justo, mejor utilizar 1 ducto de tal forma que:

Gasto	= 0.5 x 0.1799 = 0.0899 m ³ / s = 3.179 pie ³ / s
Máximo de	
Gases	
Caliente	

Con un sobredimensionamiento de:

$$[(0.0899 \div 0.0762) - 1] \times 100 = 18\%$$

Valor razonable de sobredimensionamiento.

CAPITULO 3

SISTEMA DE COMBUSTIÓN

3.1. Combustión perfecta.

La combustión perfecta ocurre cuando una mezcla íntima de combustible y el aire en las proporciones exactas se queman produciendo una llama luminosa de tal manera que no sobra combustible ni oxígeno.

Cuando la combustión se realiza con gas licuado de petróleo (gas LP) el cual es un combustible fósil constituido por mezclas de propano y butano los cuales pueden contener etano, pentanos e hidrocarburos más pesados y algunas olefinas. Se le denomina gas licuado porque aunque se produce en estado de vapor se licúa mediante compresión y enfriamiento. Es incoloro e inodoro, por lo que para poder detectarlo cuando se fuga se le añade una sustancia de olor penetrante (etil-mercaptano).

El gas LP que se distribuye en la zona metropolitana de la ciudad de México es una mezcla de propano y butano en proporción aproximada de 60% y 40% respectivamente. Contiene etano, pentanos y olefinas en porcentajes menores al 2% de cada uno. Este combustible proviene de los complejos procesadores de gas ubicados en las zonas sur y sureste del país.

Al realizar la combustión con gas licuado de petróleo y oxígeno como combustible y comburente respectivamente se produce una reacción de un hidrocarburo, la cual se expresa de la siguiente forma:



Seguindo la fórmula anterior la reacción para el gas LP queda como:

Propano:



Butano:



Las reacciones que se obtuvieron se deben a que no se utilizó oxígeno puro sino aire a presión y temperatura estándar (a nivel del mar) en donde, la relación volumétrica es de 21% de oxígeno y 79% de nitrógeno y otros gases inertes.

De tal forma que en las reacciones se puede apreciar que para que la combustión sea perfecta, por cada volumen de gas LP se requieren 26.6 volúmenes de aire.

3.2. Sistema de combustión.

Las características de un sistema de combustión o equipo para quemar el combustible son:

1. Localizar la posición de las flamas en el lugar adecuado para la liberación del calor.
2. Iniciar y mantener la ignición.
3. Mantener la proporción aire – combustible.
4. Mantener la mezcla aire – combustible a la proporción y presiones adecuadas.

Para que los puntos anteriores se lleven a cabo, se deben realizar con seguridad tal como lo demanda el proceso.

3.2.1. Quemadores.

Los quemadores para gas, de mezcla en la boquilla como su nombre lo indica, la mezcla de aire y gas se realiza al abandonar sus puertos respectivos; los dos fluidos se mantienen separados dentro del mismo quemador, pero los orificios de las boquillas están diseñados para que ambos fluidos se mezclen entre sí a la salida para realizar la combustión.

Los quemadores de mezcla en la boquilla están diseñados para una amplia flexibilidad de operación. Pueden ser usados satisfactoriamente en la mayoría de los equipos industriales de calefacción, donde se desee un quemador sellado. Son ampliamente usados en hornos para fusión de metal, hornos de forja, para calentamiento de lingotes y calentadores de aire, en donde se desee liberar una gran cantidad de calor por cada quemador. Los quemadores de mezcla en la boquilla son una excelente opción.

En el capítulo anterior se mencionó un quemador Pyronics de flama plana modelo Sw -1 el cual liberará 26379 W (90,000 BTU / h) para 3.4472 kPa (8 onzas sobre pulgada cuadrada). Se usaron dos quemadores obteniendo un total de 52758 W (180000 BTU/h).

El quemador seleccionado queda perfecto para el requerimiento de 48504.82 W (165488.87 BTU / h).

Con este quemador se está arriba de la potencia térmica instalada y se tiene la seguridad de que funcionará adecuadamente si se trabaja con la presión adecuada.

El sistema va a quemar gas LP, el cual tiene un poder calorífico de 23,113 kcal / m³.

El gasto de combustible se calcula mediante la fórmula siguiente:

$$\left| \begin{array}{l} \text{Gasto de} \\ \text{Combustible} \end{array} \right| = \frac{\text{POTENCIA TERMICA INSTALADA}}{\text{PODER CALORIFICO DEL COMBUSTIBLE}}$$

$$\left| \begin{array}{l} \text{Gasto de} \\ \text{Combustible} \end{array} \right| = \frac{40525.657 \text{ kcal / h}}{23.113 \text{ kcal / m}^3}$$

$$\left| \begin{array}{l} \text{Gasto de} \\ \text{Combustible} \end{array} \right| = 1.7533 \text{ m}^3 / \text{h}$$

3.2.2. Ventilador.

Ahora se sabe que para quemar un metro cúbico de gas LP es necesario suministrar 26.6 m³ de aire a presión y temperatura estándar, con lo que se tendrá una relación estequiométrica de aire – gas (26.6:1), o sea una combustión perfecta. Así que el volumen de aire para la combustión será:

$$\left| \begin{array}{l} \text{Gasto de} \\ \text{Aire std} \end{array} \right| = \text{GASTO DE COMBUSTIBLE} \times \text{RELACION DE AIRE - GAS}$$

$$\left| \begin{array}{l} \text{Gasto de} \\ \text{Aire std} \end{array} \right| = (1.7533 \text{ m}^3 / \text{h}) \times (26.6)$$

$$\left| \begin{array}{l} \text{Gasto de} \\ \text{Aire std} \end{array} \right| = 46.6377 \text{ m}^3 / \text{h} (1646.7771 \text{ pie}^3 / \text{h})$$

Como se puede ver, es necesario suministrar ese volumen de aire para lograr la combustión.

El gasto de aire - combustión que se calculó es el requerido a nivel del mar. Como el horno será instalado en la zona metropolitana de la Ciudad de México lo que significa que el volumen del aire debe ser mayor por causa de la altitud de la ciudad y su efecto sobre la densidad.

La tabla 3.6. muestra la variación de la presión barométrica y la densidad de aire con la altitud.

Tabla 3.6. Variación de la presión en la altitud.

Elevación sobre el nivel del mar m.	Presión absoluta		Peso específico del aire a 15.6°C Kg / m ³	Densidad relativa del aire estándar G
	Mbar	mm Hg		
0	10.13	713	1.225	1.0000
2000	795.0	596	1.007	0.8220
2200	775.5	582	0.987	0.8057
2400	756.3	567	0.967	0.7894
3000	701.2	526	0.909	0.7420

La zona metropolitana de la Ciudad de México se encuentra a 2,285 metros sobre el nivel del mar (Cuautitlan, Izcalli, Edo. de México), así que utilizamos la densidad del aire (G = 0.7987) como factor de corrección para la altitud de 2,285 metros.

$$\left| \begin{array}{l} \text{Gasto de} \\ \text{Aire corregido} \end{array} \right| = \frac{\text{GASTO DE AIRE STD}}{\text{FACTOR DE CORRECCION (G)}}$$

$$\left| \begin{array}{l} \text{Gasto de} \\ \text{Aire corregido} \end{array} \right| = \frac{46.6377 \text{ m}^3 / \text{h}}{0.7987}$$

Gasto de Aire corregido	= 58.3920 m ³ / h (2061.8215 pie ³ / h)
-------------------------	---

Gasto de Aire corregido	= 0.9732 m ³ / min (34.3636 pie ³ / min)
-------------------------	--

Corrección de La presión Debido a la altitud	= $\frac{\text{PRESION A LA SALIDA DEL VENTILADOR}}{(\text{FACTOR DE CORRECCION})^2}$
--	---

Corrección de La presión Debido a la altitud	= 3.44 ÷ 0.6380 = 5.3918 kPa (12.5391 o.s.i.)
--	---

Corrección de La presión Para el Sistema	= 12.5391 X 1.3 X 1.02 = 16.6268 o.s.i. (7.1644 kPa)
--	--

Por lo tanto se concluye que el ventilador que se necesita es un LC – 20 – 4 – 3 de la marca Pyronics debido a que la presión que el ventilador proporciona es superior a la presión que necesitamos dentro del sistema.

3.3. Cálculo de las pérdidas de presión en tuberías.

En una forma esquemática, el sistema de suministro de aire de combustión se muestra en la figura 3.16. La cantidad de aire que pasa a través de la tubería está determinada por la capacidad del quemador y la sección que estamos analizando. El método que se siguió fue meramente práctico para determinar la caída de presión.

Las columnas 1 y 2 de la tabla 3.7 dividen el sistema de tubería en secciones marcadas con letras y la longitud del tubo en cada sección, las longitudes equivalentes para las conexiones se han tomado de los datos recopilados en la referencia bibliográfica al final del trabajo y la caída de presión para cada 30 metros en la columna 8 se han obtenido de la figura 3.17.

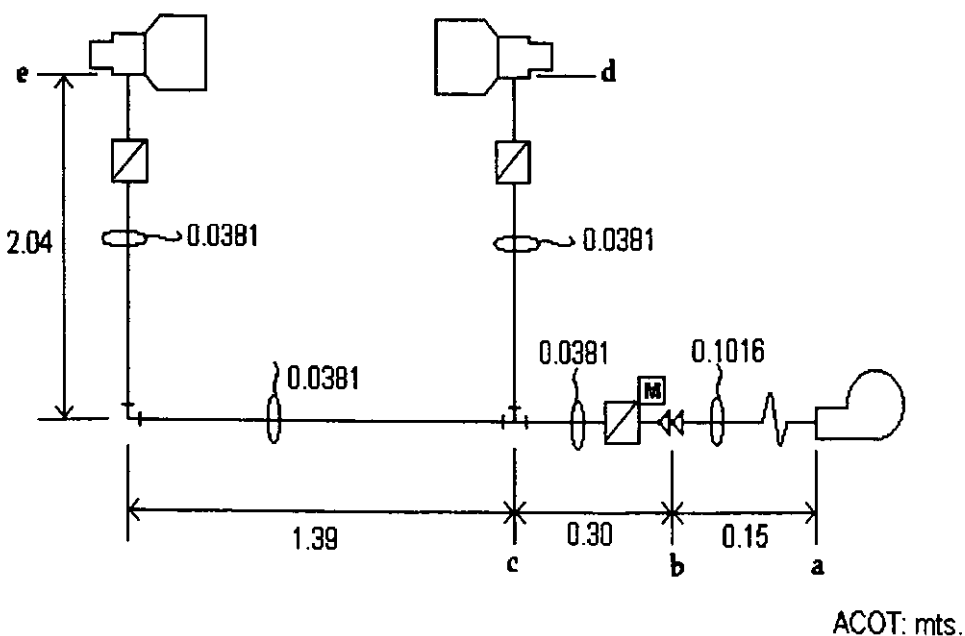
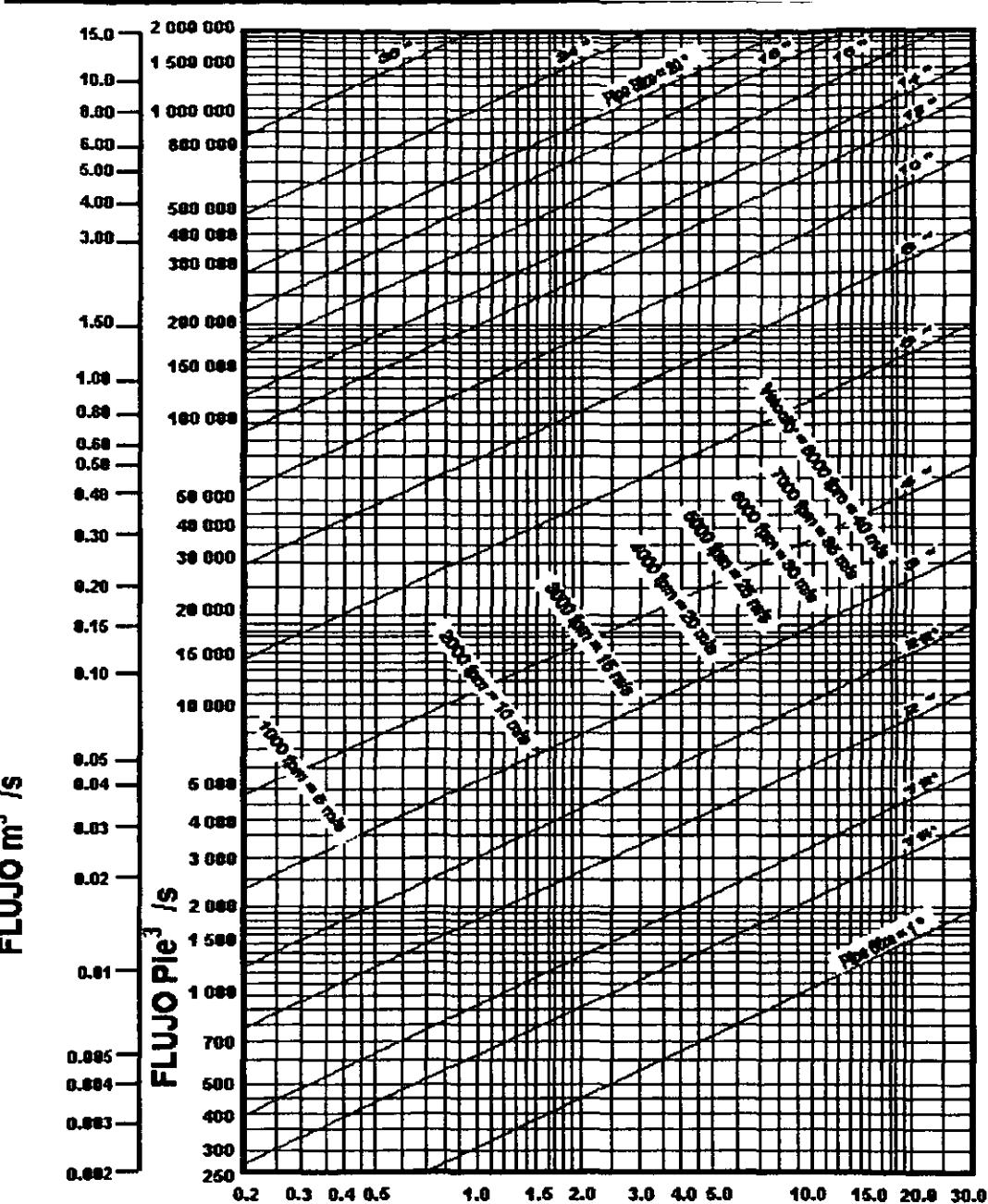


Figura 3.16. Diagrama de la tubería

Tabla 3.7. Caída de presión en tubería para aire de combustión.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
SECCIÓN	LONG. DE LA TUBERÍA (m)	FLUJO (m ³ /h)	Ø NOMINAL (pulg.)	VALVULAS Y ACCESORIOS (pulg.)	LONG. EQUIVA- LENTE (m)	LONG. TOTAL. (m) 2 + 6	ΔP (bar) P / 30 m	ΔP (bar) ACTUAL (7 X 8) ÷ 30
a - b	0.1524	66.79	4	Reducción 4 a 3	0.6492	0.8016		0.00069
b - c	0.3048	66.79	1.5	Reducción 3 a 1.5 Te 1.5 Válvula de mariposa	0.6827 2.4536 1.1856	4.6268	0.0215	0.00327
c - e	3.3192	33.37	1.5	Codo de 90° Válvula de mariposa	0.9814 1.1856	5.4864	0.0060	0.00108
c - d	1.9171	33.37	1.5	Válvula de mariposa	1.1856	3.1028	0.0060	0.00061
TOTAL								0.0056



BAJA PRESION, Onzas / plg² por 100 pies de tubería

Figura 3.17 Gráfica de pérdida de presión por cada 30 m.

3.4. Sistema de control.

El control del proceso, no sólo involucra el calor que entra o sale del proceso, sino la regulación de otras variables que están interrelacionadas como la presión y el flujo.

Antes que pueda establecer el control primero deberá detectarse por medio de un dispositivo que responda a los cambios en el valor o la cantidad de la variable. Esta cantidad, o este cambio, deberá ahora ser registrada o indicada antes de ser controlada.

A continuación de la acción del control, el último paso en la secuencia es la transmisión de la señal controlada hacia el elemento final del control, el elemento final recibe la señal del controlador y produce los cambios correctivos en el proceso. El tipo y número de elementos finales de control están dictaminados por el proceso a ser controlado. La instrumentación se requiere en todos estos pasos.

Entre las numerosas variables que se pueden identificar en un proceso de calentamiento, cuatro son las de mayor importancia; temperatura, presión, flujo y atmósfera del horno. Los sensores de temperatura incluyen los termopares y pirómetros, los sensores de presión incluyen manómetros, los instrumentos de medición de flujo pueden ser de presión diferencial o área limitante, para la medición de la atmósfera dentro del horno se utilizan analizadores infrarrojos.

El sistema de regulación de temperatura, presión, flujo y atmósfera deben ser capaces de mantener el valor que se les a asignado como punto de control. En el caso de que exista una desviación de este valor el sistema tiene que realizar automáticamente las correcciones que sean pertinentes.

3.4.1. Control del sistema de combustión.

Es de vital importancia conocer él porque de cada uno de los componentes del sistema de combustión y su función.

El horno cuenta con un sistema de calefacción a gas LP. El sistema de combustión esta dividido en dos zonas de regulación de temperatura. En las paredes laterales del horno se hayan dispuestos los quemadores, uno por cada zona de regulación, los quemadores son del tipo de exceso de aire y mezcla en la boquilla, con válvulas de regulación individuales.

El control cuantitativo de la reacción se deberá hacer, en consecuencia, variando la alimentación de combustible; el exceso de aire, manteniendo su proporción con respecto al combustible utilizado.

Una presión constante en el hogar favorece el control de la relación aire-combustible, al proporcionar una presión constante tras la válvula o regulador; esto es especialmente importante si se trabaja con tiro natural y si los quemadores son de inducción (de aire o gas).

Una presión positiva evita entradas de aire exterior, lo que es una medida de ahorro energético.

Dentro del control del sistema de combustión se considera un control de seguridad el cual tiene por objetivo fundamental el interrumpir el suministro del combustible en caso de detectarse la extinción de la llama, evitando así que pueda formarse una mezcla explosiva de combustible-aire, que podría dar lugar a una explosión incontrolada.

La existencia de un piloto no proporciona la suficiente seguridad, ya que también él puede apagarse, o incluso encendido no ser capaz de volver a encender con prontitud suficiente una llama apagada, o por no poder hacerlo por no ser adecuada la reacción aire-combustible.

El mejor sistema de seguridad consiste en un detector de llama que, en caso de fallo de detección de la misma, provoca el corte instantáneo del suministro de combustible mediante una válvula de cierre rápido, de apertura manual.

Los sistemas de combustión del horno se apagarán cuando se presenten una o varias de las condiciones siguientes:

Al apagarse el horno por cualquier causa siempre sonora y se encenderá la alarma visual.

La alarma sonora puede acallarse oprimiendo el botón (diagrama eléctrico, anexo) pero la luz piloto permanecerá encendida mientras exista la condición anormal.

Estas condiciones de anomalía, son las que se en listan a continuación:

- A) Baja presión de aire de combustión dentro del horno.
- B) Baja presión de gas.
- C) Alta presión de gas.
- D) Falla de corriente eléctrica.

E) Temperatura excesiva dentro del hogar del horno.

Si el horno se apaga por las causas anteriores se deberá proceder a restablecer la condición normal antes de intentar volver a encender el horno.

3.4.2. Sistema de encendido.

Para poder encender el horno, ya sea al iniciar el calentamiento o después de que se haya apagado por cualquiera de las condiciones mencionadas anteriormente, será necesario que las válvulas de alimentación de gas a los pilotos y a cada quemador estén en la posición de cerrado.

Si bien este sistema obliga a que, cuando se quiera encender el horno, las válvulas de alimentación de gas a quemador y pilotos deben estar cerrados. Siempre se deberán encender primero los pilotos y asegurarse que todos estén encendidos antes de abrir la válvula de alimentación de cada quemador para su encendido.

El control del proceso, no sólo involucra el calor que entra o sale del proceso, sino la regulación de otras variables que están interrelacionadas como la presión y el flujo.

Antes que el control pueda ser establecido, la variable primero deberá ser detectada por medio de un dispositivo que responda a los cambios en el valor o la cantidad de la variable. Esta cantidad, deberá ahora ser registrada o indicada antes de ser controlada.

A continuación de la acción del control, el último paso en la secuencia es la transmisión de la señal controlada hacia el elemento final de control. El elemento final recibe la señal del controlador y produce los cambios correctivos en el proceso. El tipo y número de elementos finales de control están dictaminados por el proceso a ser controlado; la instrumentación se requiere en todos estos pasos.

Entre las numerosas variables que se pueden identificar en un proceso de calentamiento, cuatro son las de mayor importancia; temperatura, presión, flujo y atmósfera del horno. Los sensores de temperatura incluyen termopares, sistemas termales, detectores bimetalitos y pirómetros, por radiación. Los instrumentos sensores de presión incluyen barómetros de columna líquida, manómetros, tubos de burdón, diafragma y fuelle resorte. Los instrumentos para la medición de flujo pueden tener cualquiera de los siguientes tres principios: desplazamiento positivo, presión diferencial y área limitante. La medición de la atmósfera del horno, además de involucrar las

variables anteriores de flujo, temperatura y presión, también introducen el problema de la composición de la atmósfera. Los sensores en esta categoría incluyen analizadores infrarrojos, instrumentos para la medición del punto de rocío, el analizador Orsat y la cromatografía de gases.

Conclusiones.

El estudio de los problemas de fabricación de un horno como el proyecto nos condujo a las siguientes conclusiones:

La construcción de este horno requiere como factor indispensable mano de obra calificada y dirección acertada, por el requerimiento de una construcción precisa y cuidadosa en áreas fundamentales. La estructura metálica en la que los diversos componentes deberán trazarse, cortarse en forma bastante precisa para después unirse entre sí mediante soldadura de arco para construir en forma final una estructura muy rígida y robusta capaz de resistir las muy importantes cargas que resultarán de la expansión de los materiales refractarios cuando se encuentren sujetos a la alta temperatura.

En cuanto al trazo, el corte de las placas y los elementos estructurales de acero se deberán hacer en forma limpia y cuidadosa. Posteriormente al unirse los elementos se deberá tener particular cuidado en que la soldadura se haga con buena penetración y en la secuencia necesaria para evitar distorsiones y esfuerzos residuales.

La construcción de la tubería del sistema de combustión se deberá hacer con gran cuidado porque la conducción del gas licuado de petróleo es siempre peligrosa y se deberá verificar la inexistencia de fugas de tal forma que ni a la terminación de la construcción del horno ni tampoco durante la vida útil del mismo se presenten y para la selección de las distintas válvulas y reguladores, siempre se comienza desde el quemador hacia atrás, para ir calculando la caída de presión que se tiene a través de las válvulas y que los quemadores operen a las presiones de aire y gas que son las recomendadas para el quemador a utilizarse. Con lo que concierne al sistema de encendido no hay sistema cien por ciento seguro y el sistema con que cuenta este horno proporciona ciertas condiciones de seguridad para el encendido, pero siempre deberá seguir la secuencia correcta del encendido de los quemadores.

En la instalación de los componentes eléctricos del horno será necesario contar con mano de obra especializada y que sea capaz de interpretar planos, llevar a cabo y verificar que las conexiones eléctricas y enclavamientos; los componentes se ejecutan según el proyecto para su montaje final.

**ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA**

Con el desarrollo de este proyecto nos permitimos considerar como factible la construcción en México de hornos, no sería prudente aseverar que se pueden construir en México todo tipo de hornos industriales cuya variedad es muy amplia, y en ciertos casos no se dispone de la tecnología completa para su construcción, pero la disponibilidad de materiales, equipos, mano de obra y tecnología, si permite la construcción de muchos a precios y calidades muy comparables con los equipos fabricados en el extranjero, con el consiguiente ahorro de divisas y demás, permitirá el desarrollo de esta industria en México.

Bibliografía.

- 1.- Crane CO, Flow of fluids through valves, fittings and pipe, technical paper No. 410, 1969, NEW YORK, N.Y., U.S.A.
- 2.- Efecto del gas LP en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, PEMEX-GAS y Petroquímica Básica, 1998.
- 3.- Combustión y Quemadores, Manuel Marquez Martinez; Ed. Marcombo, S.A. 1989.
- 4.- La producción de energía mediante el vapor de agua, el aire y los gases; Ed. Reverte Mexicana, S.A. 1991.
- 5.- Química general moderna, Joseph A. Babor; Ed. Marin, S.A. 1979.
- 6.- Introducción a la Metalurgia Física, Sydney H. Avner; Ed. Mc Graw-Hill, 1979.
- 7.- Gas Engineers Handbook, Fuel gas engineering, practices, fifth printing, 1977. Industrial press.
- 8.- Fundamentos de dibujo en ingeniería, Warren J. Luzadder; Ed. Prentice Hall Hispanoamericana, S.A. 1994.
- 9.- North american combustion handbook, Third edition 1986, Clevelan Ohio, U.S.A.
- 10.- Procesos de la transferencia de calor; Kern, Donald; Ed Limusa.
- 11.- MARKS, Manual del ingeniero mecanico, Volumen 1; Theodore Baumeister, Eugene A. Avallone; Ed. Mc Graw-Hill.
- 12.- Procesos de fabricación; Myron Louis Begeman, B.H. Amstead; Ed. Urmo.

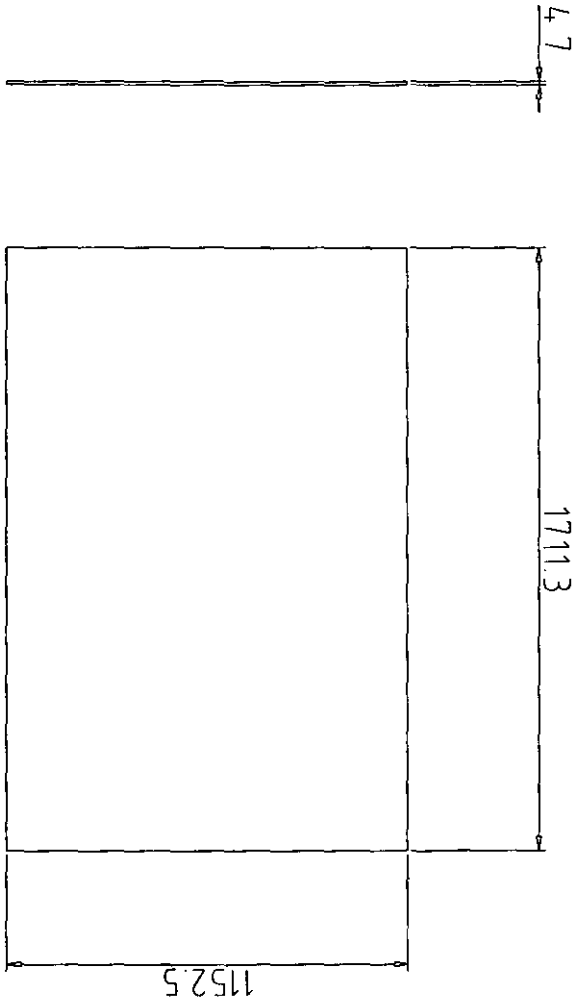
3.- La combustión y su utilización en hornos industriales, Carrasco Carrasco y Asociados, S.C.

4.- A.P. GREEN, Refractarios, Información Técnica.

5.- PYRONICS INC., Combustion for industry, Información Técnica.

ANEXO

Planos de conjunto, diagrama de la tubería aire-gas y diagrama eléctrico.



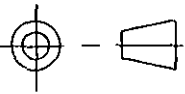
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN C 4 - UNAM

ESCALA: 1:16

ACOTACION: mm.

FECHA 2001

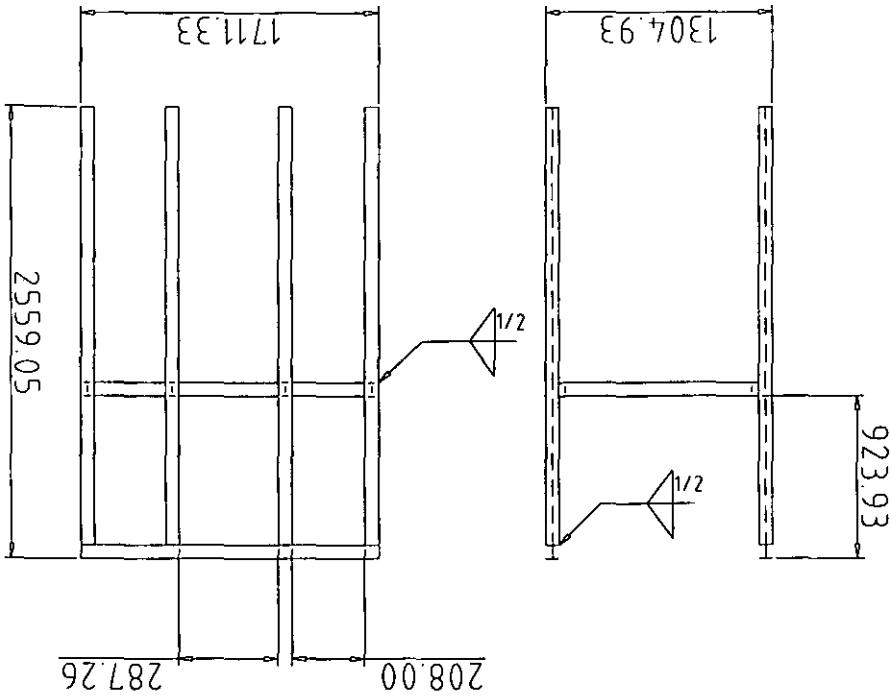
REVISO: MING. F DIAZ



PLACA 3/16"
PISO

DIBUJO: OSCAR MANUEL CARRELO
JOSE VALENTIN MONROY
IGUADALUPE AGUILAR

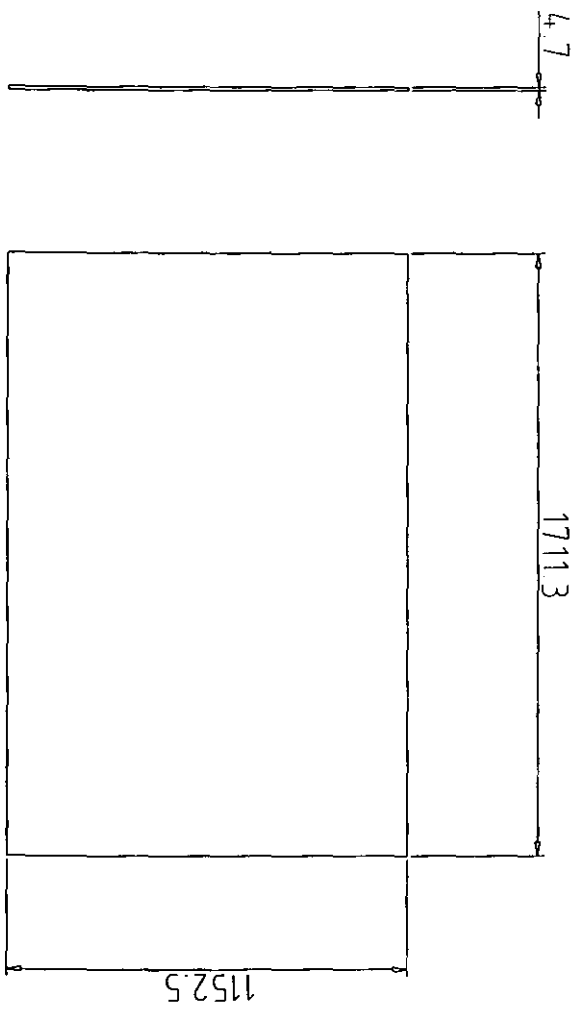
LAMINA No. 3/30



NOTA: TODAS LAS UNIONES
SERAN HECHAS CON SOLDADURA
E-7018 DE Ø1/4

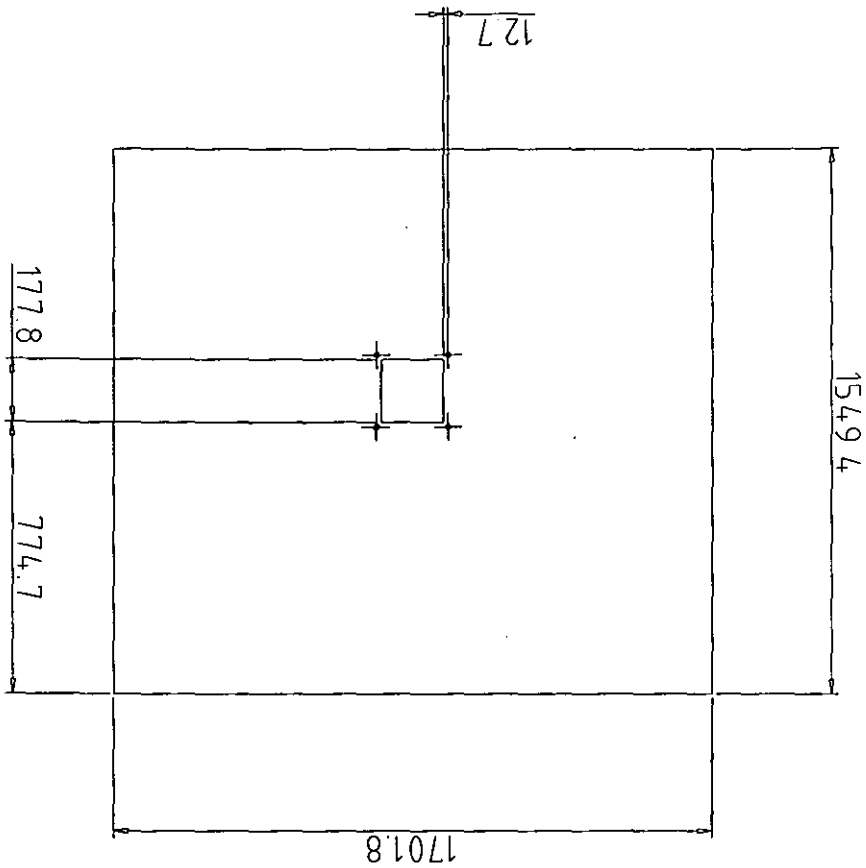
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN C 4 - UNAM

SCALA: 1:32	ACOTACION: mm.	FECHA: 2001	REVISO: MING F. DIAZ
	ESTRUCTURA DE VIGAS IPS 3"		DIBUJO: OSCAR MANUEL CARRELO JOSE VALENTIN HERRERO GUADALUPE AGUIAR
			LAMINA No. 2/30



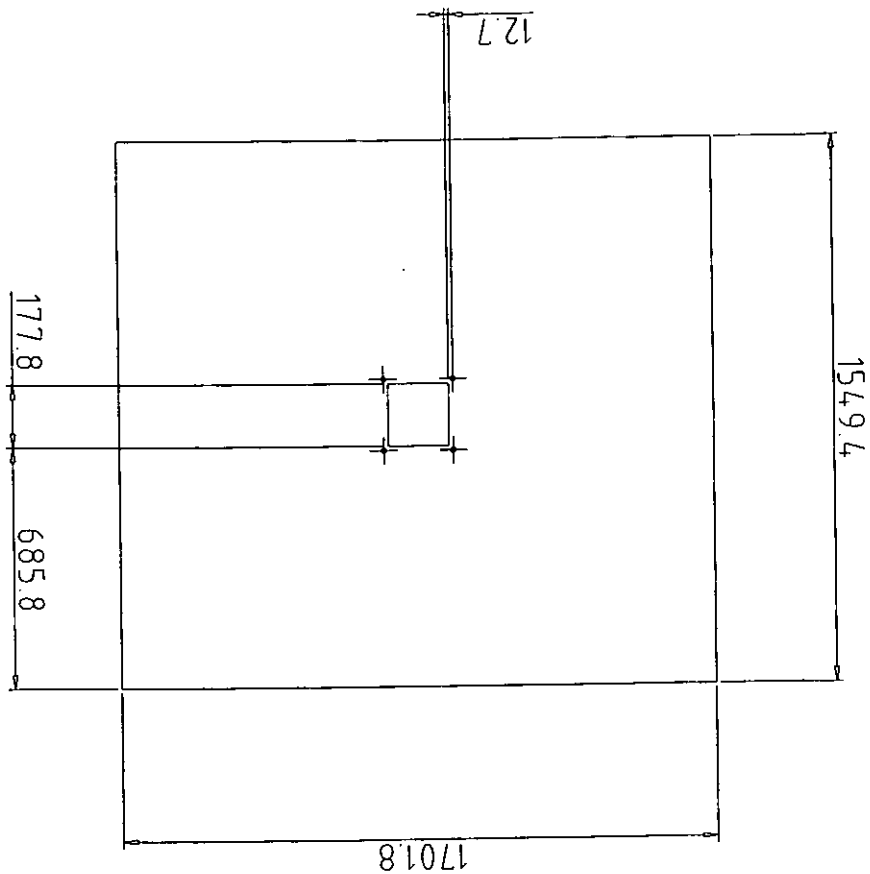
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN C 4 - UNAM

ESCALA: 1:16	ACOTACION: mm.	FECHA: 2001	REVISO MING. F DIAZ
	PLACA 3/16" PISO		DIBUJO. OSCAR MANUEL CARRELO JOSE VALENTIN MONROY GUADALUPE AGUILAR
			LAMINA No 3/30



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN C 4 - UNAM

ESCALA: 1:16	ACOTACION: mm.	FECHA: 2001	REVISO MING F DIAZ
	PLACA 3/16" LATERAL IZQUIERDA		DIBUJO: OSCAR MANUEL CARRELO JOSE VALENTIN MONROY GUADALUPE AGUILAR LAMINA No. 4/30



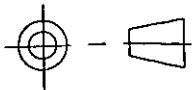
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN C 4 - UNAM

ESCALA: 1:16

ACOTACION: mm.

FECHA: 2001

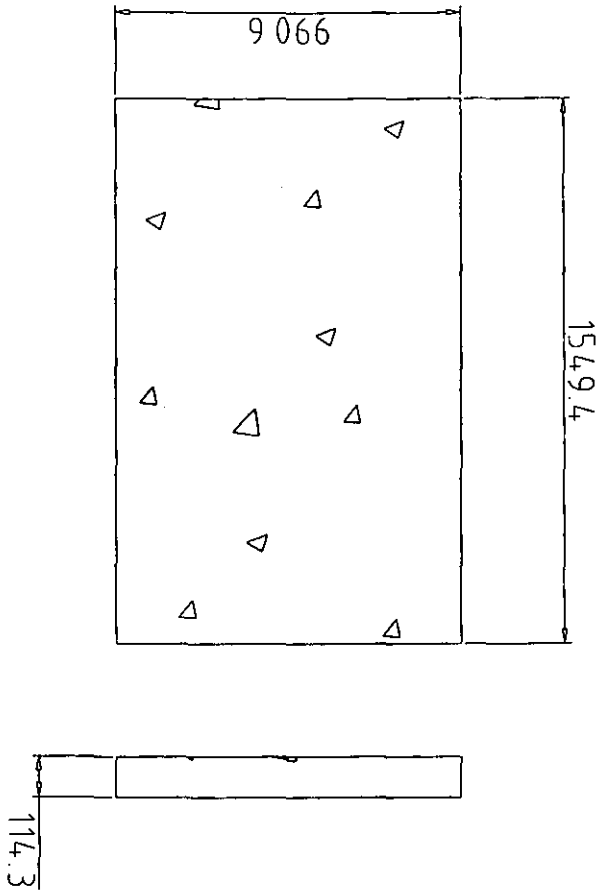
REVISO: MING F DIAZ



PLACA 3/16"
LATERAL DERECHA

DIBUJO: OSCAR MANUEL CARRILLO
JOSE VALENTIN MONROY
GUADALUPE AGUILAR

LAMINA No 5/30



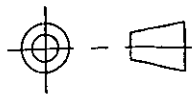
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN C 4 - UNAM

SCALA: 1:16

ACOTACION: mm.

FECHA: 2001

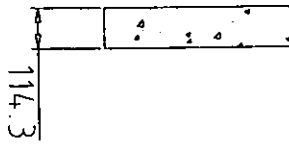
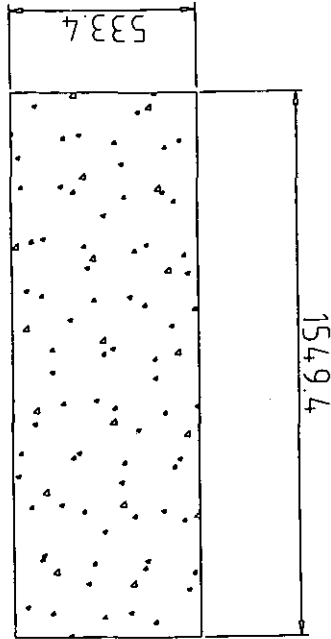
REVISO: MING. F DIAZ



PISO DE CONCRETO AISLANTE

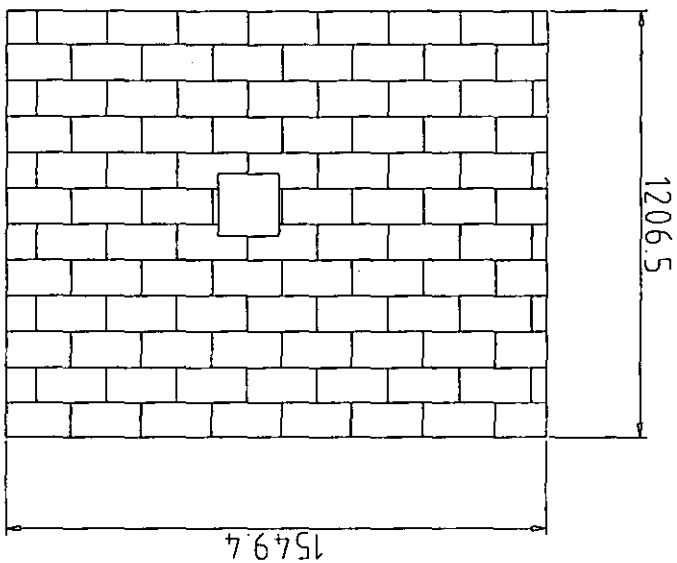
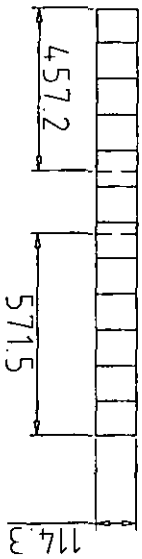
DIBUJO: OSCAR MANUEL CARELLO
JOSE VALENTIN MONROY
IGUADALUPE AGUILAR

LAMINA No 6/30



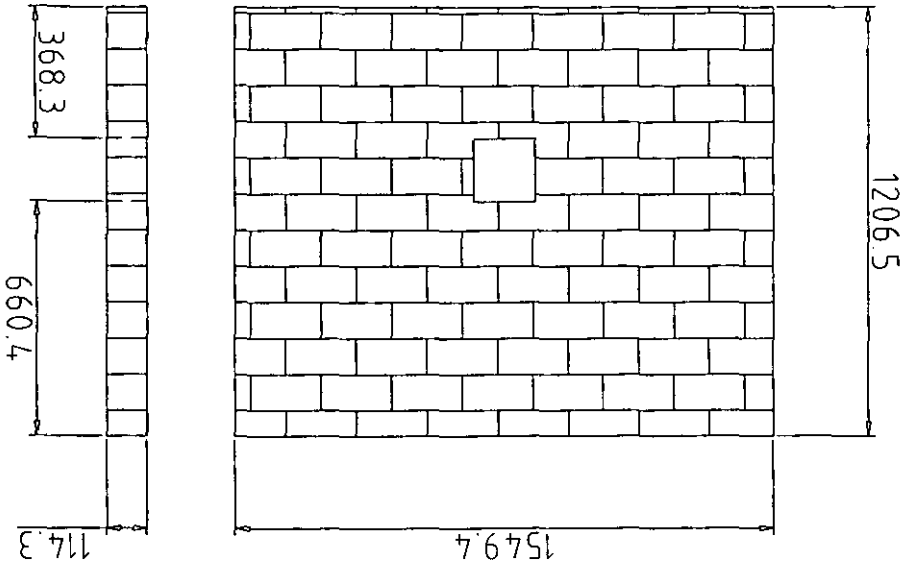
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN C 4 - UNAM

ESCALA: 1:16	ACOTACION: mm.	FECHA: 2001	REVISO: MING F DIAZ
	PISO DE CONCRETO REFRACTARIO		DIBUJO: OSCAR MANUEL CARILLO JOSE VALENTIN MONROY GUADALUPE AGUILAR LAMINA No. 7/30

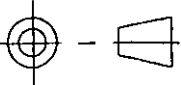


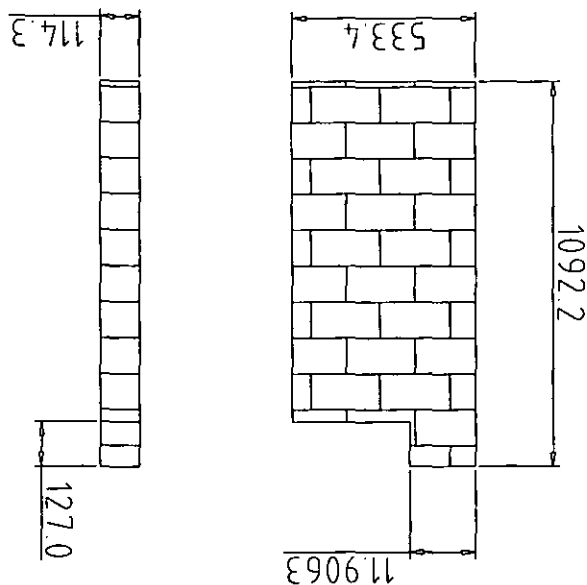
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN C 4 - UNAM

ESCALA: 1:16	ACOTACION: mm.	FECHA: 2001	REVISO MING F DIAZ
	PARED LATERAL DERECHA DE LADRILLO DURO		DIBUJO: OSCAR MANUEL CARILLO JOSE VALENTIN MONROY GUADALUPE AGUILAR LAMINA No. 8/30



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN C 4 - UNAM

ESCALA: 1:16	ACOTACION mm.	FECHA 2001	REVISO: MING F. DIAZ
 <p>PARED LATERAL IZQUIERDA DE LADRILLO DURO</p>			DIBUJO: OSCAR MANUEL CARILLO JOSE VALENTIN MONROY ISIDORA AGUILAR
			LAMINA No. 9/30



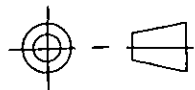
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN C 4 - UNAM

SCALA: 1:16

ACOTACION: mm

FECHA 2001

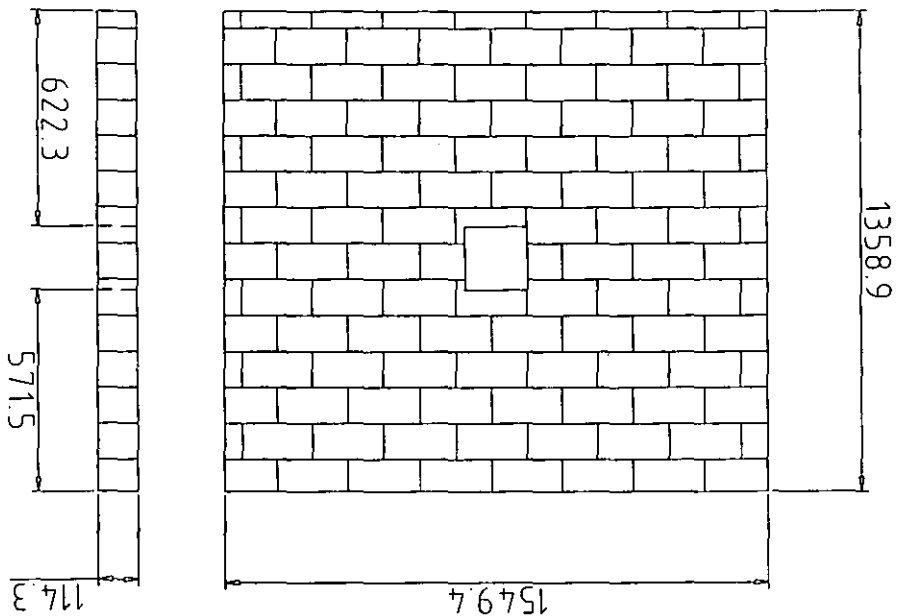
REVISO: MING F DIAZ



PARED POSTERIOR
DE LADRILLO DURO

DIBUJO:
OSCAR MARCEL CARRELO
JOSE VALENTIN MONROY
IGUADALUPE AGUILAR

LAMINA No 10/30



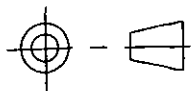
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN C 4 - UNAM

SCALA: 1:16

ACOTACION: mm.

FECHA: 2001

REVISO MING F DIAZ

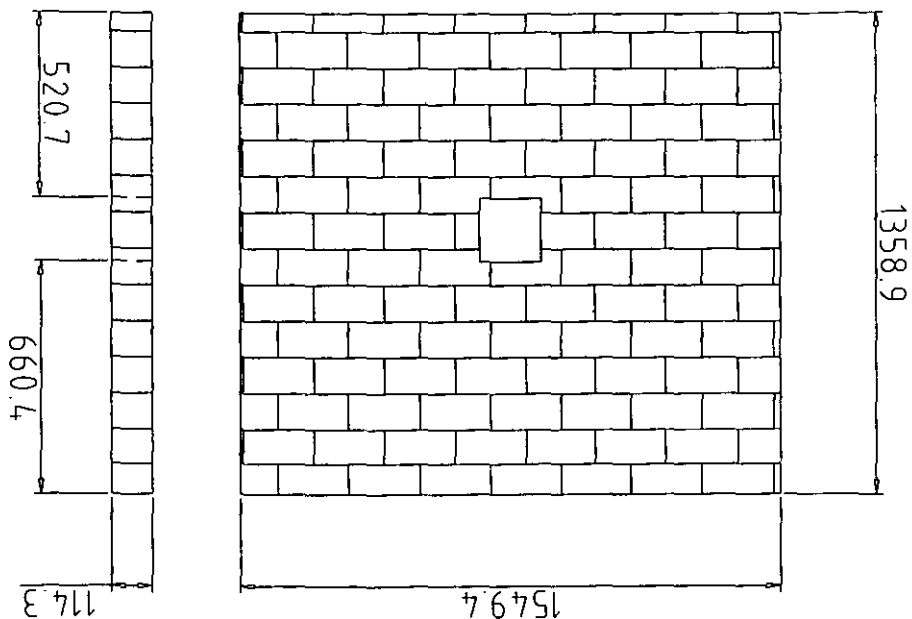


PARED LATERAL
DERECHA T-26

DIBUJO

OSCAR MANUEL CARELLO
JOSE VALENTIN POMEROY
J GUADALUPE AGUILAR

LAMINA No. 11/30



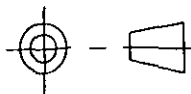
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN C.4 - UNAM

ESCALA: 1:16

ACOTACION mm.

FECHA: 2001

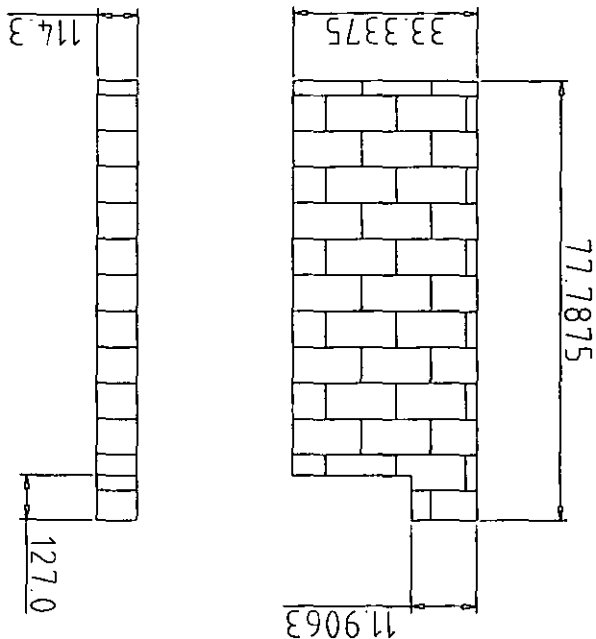
REVISO MING F DIAZ



PARED LATERAL
IZQUIERDA T-26

DIBUJO
OSCAR MANUEL CARRELO
JOSE VALENTIN MONROY
J GUADALUPE AGUILAR

LAMINA No. 12/30



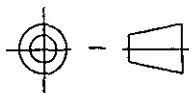
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN C 4 - UNAM

SCALA: 1:16

ACOTACION: mm.

FECHA: 2001

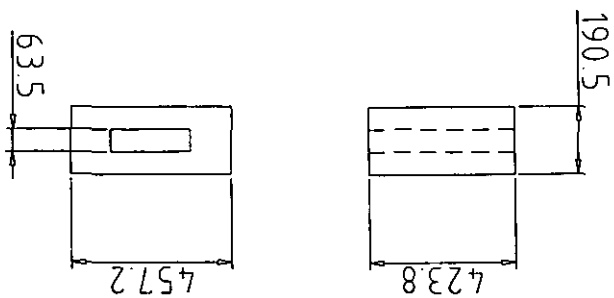
REVISO: MING F DIAZ



PARED POSTERIOR
T-26

DIBUJO
OSCAR MANUEL CARILLO
JOSE VALENTIN MONROY
J EDUARDO AGUILAR

LAMINA No 13/30



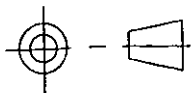
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN C.4 - UNAM

ESCALA: 1:16

ACOTACION: mm

FECHA: 2001

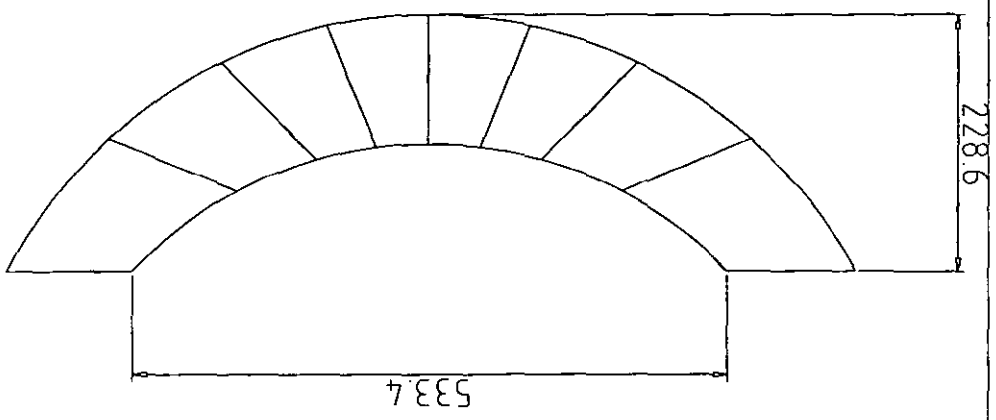
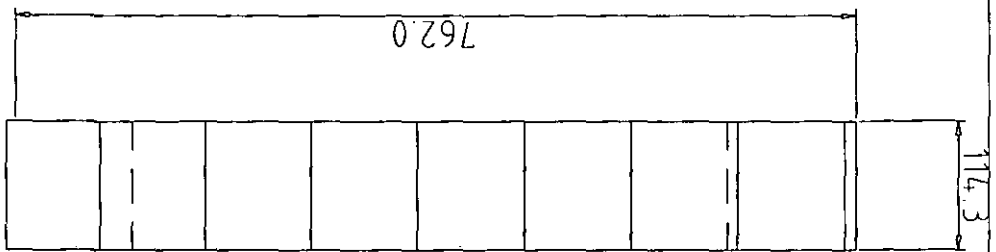
REVISO: M. ING F DIAZ



DUCTO DE LADRILLO
DURO

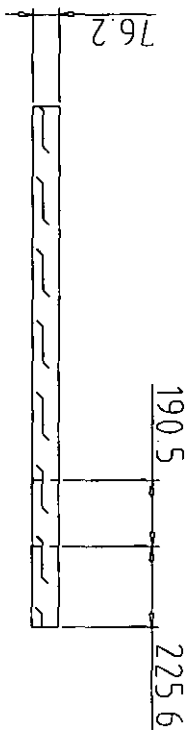
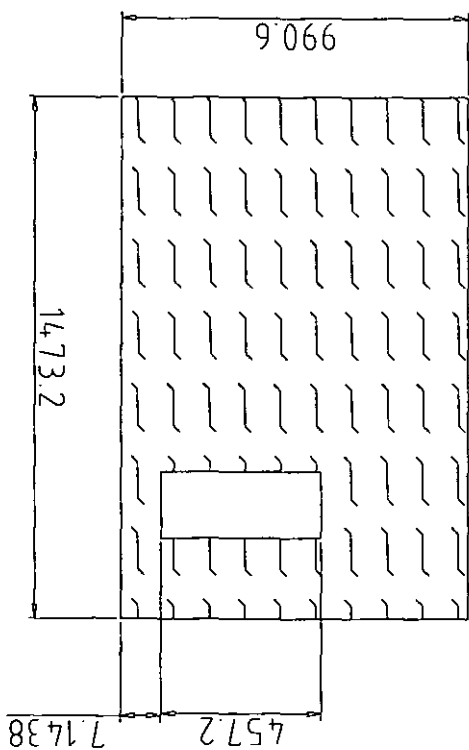
DIBUJO: OSCAR MANUEL CARRELO
JOSE VALENTIN MONROY
GUADALUPE AGUILAR

LAMINA No 14/30



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN C 4 - UNAM

ESCALA 15	ACOTACION: mm.	FECHA 2001	REVISO MING F DIAZ
	ARCO SOPORTE T-26		DIBUJO: OSCAR MANUEL CARRELO JOSE VALENTIN MORROY J GUADALUPE AGUILAR
			LAMINA No. 15/30



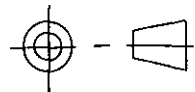
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN C 4 - UNAM

SCALA 1:16

ACOTACION mm.

FECHA 2001

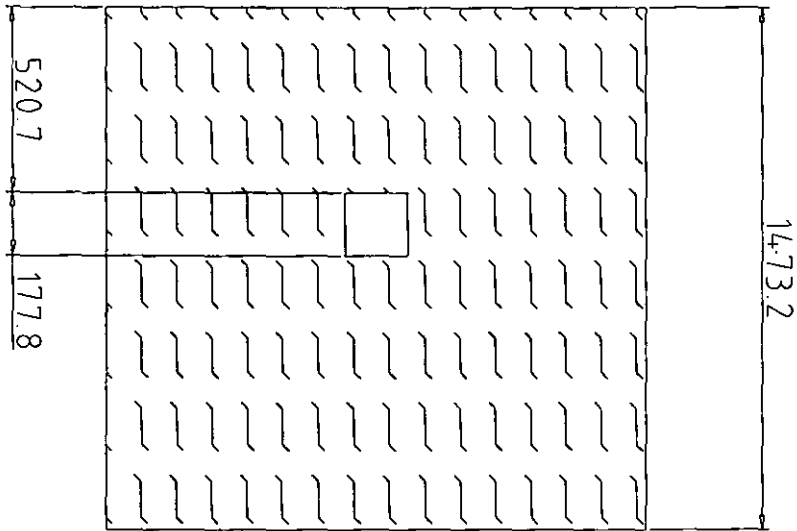
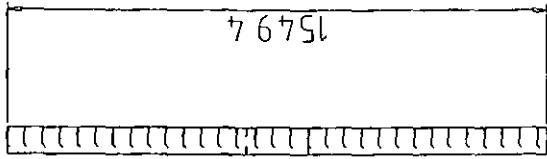
REVISO MING F DIAZ



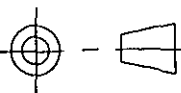
PARED POSTERIOR
DE LANA MINERAL

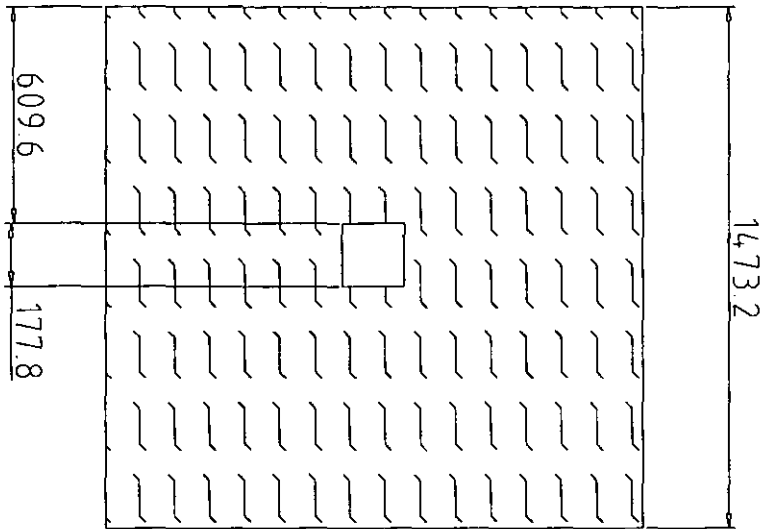
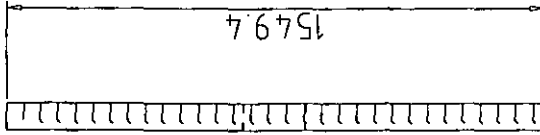
DIBUJO
OSCAR MANUEL CARILLO
JOSE VALENTIN MONROY
J GUADALUPE AGUILAR

LAMINA No. 16/30



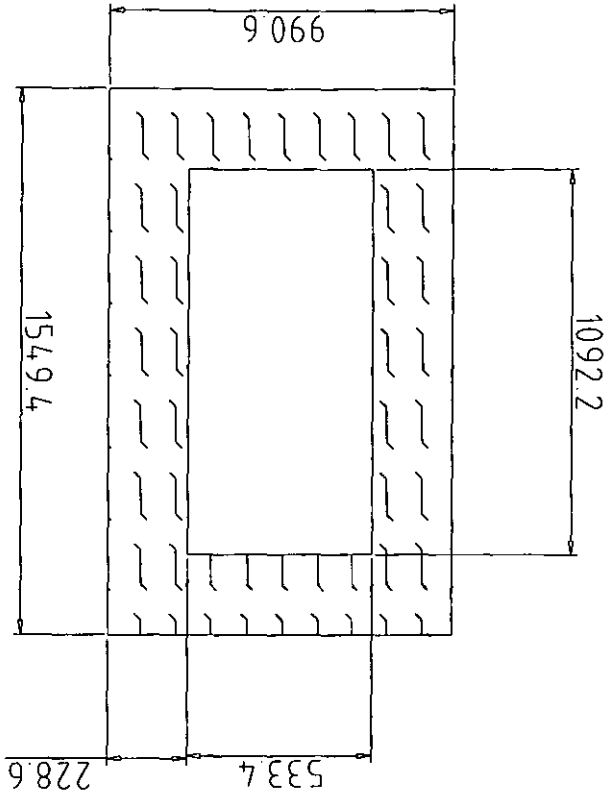
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN C 4 - UNAM

ESCALA: 1:16	ACOTACION: mm.	FECHA: 2001	REVISO MING. F DIAZ
 PARED LATERAL IZQUIERDA DE LANA MINERAL			DIBUJO: OSCAR MANUEL CABRILLO JOSE VALENTIN MONROY J GUADALUPE AGUILAR LAMINA No 17/30



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN C 4 - UNAM

ESCALA 1:16	ACOTACION: mm.	FECHA: 2001	REVISO MING F DIAZ
	PARED LATERAL DERECHA DE LANA MINERAL		DIBUJO <small>OSCAR MANUEL CARILLO JOSE VALERIN MONROY IGUADALUPE AGUILAR</small>
			LAMINA No 18/30



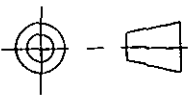
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN C 4 - UNAM

ESCALA 1:16

ACOTACION mm.

FECHA 2001

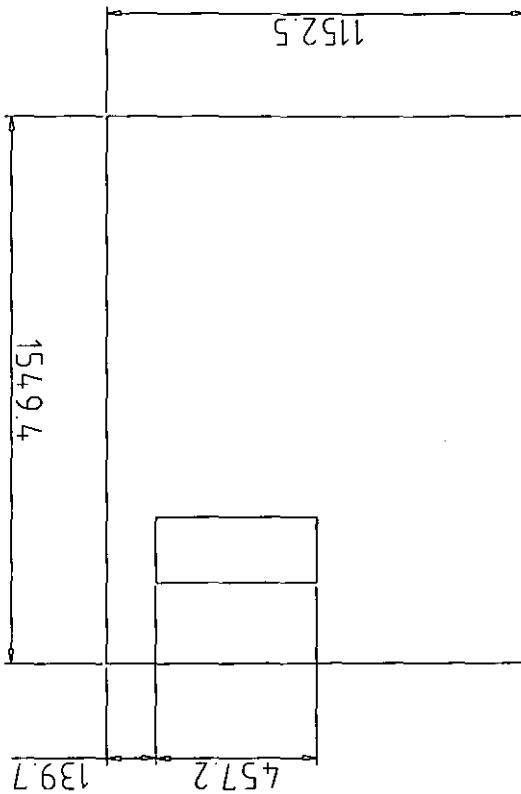
REVISO: MING F DIAZ



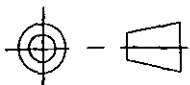
PARED FRONTAL DE
LANA MINERAL

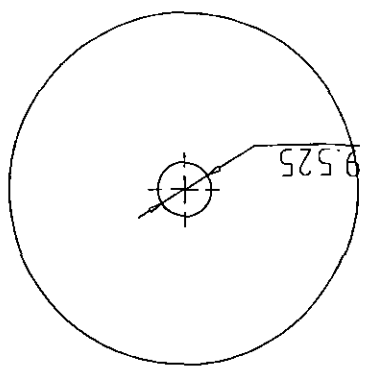
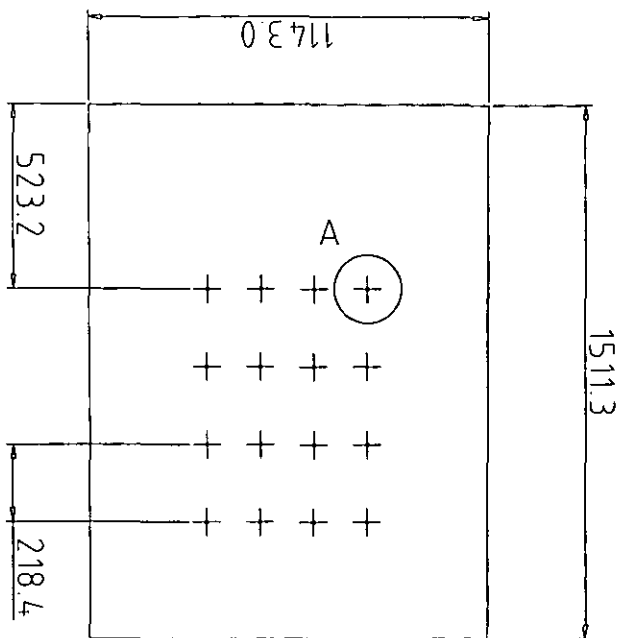
DIBUJO: OSCAR MANUEL CARRELO
JOSE VALENTIN MONROY
GUADALUPE AGUILAR

LAMINA No 19/30

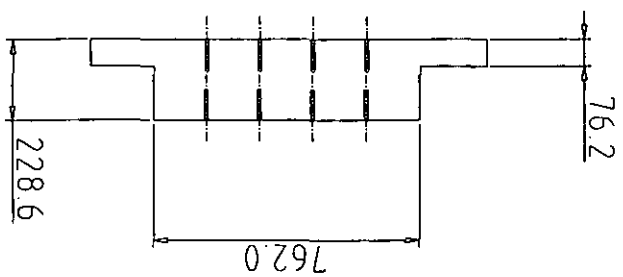


FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN C 4 - UNAM

SCALA: 1:16	ACOTACION: mm.	FECHA: 2001	REVISOR: MING F. DIAZ
	<p>PLACA 3/16" POSTERIOR</p>		<p>DIBUJO OSCAR MANUEL CARILLO JOSE VALENTIN MONROY GUADALUPE AGUILAR</p>
			<p>LAMINA No 20/30</p>

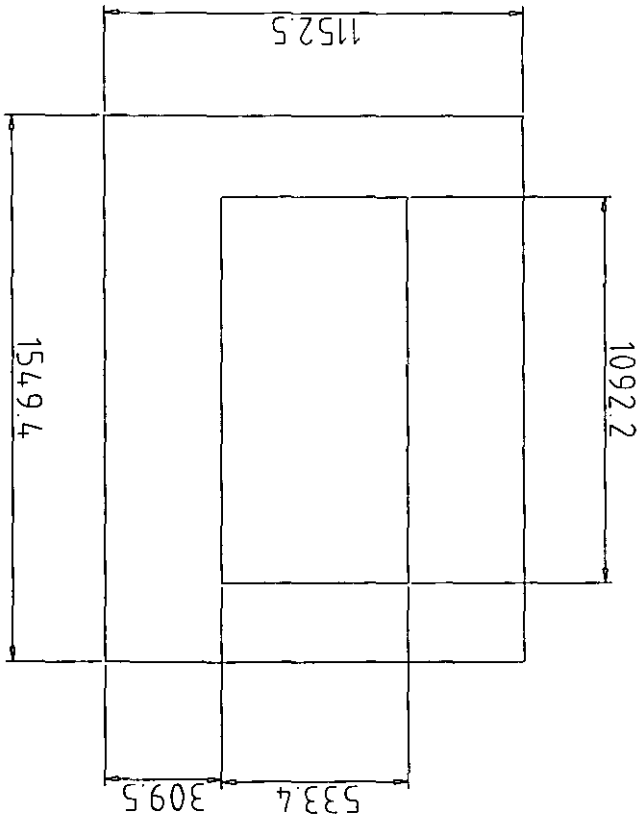


DETALLE A
ESCALA 1:1



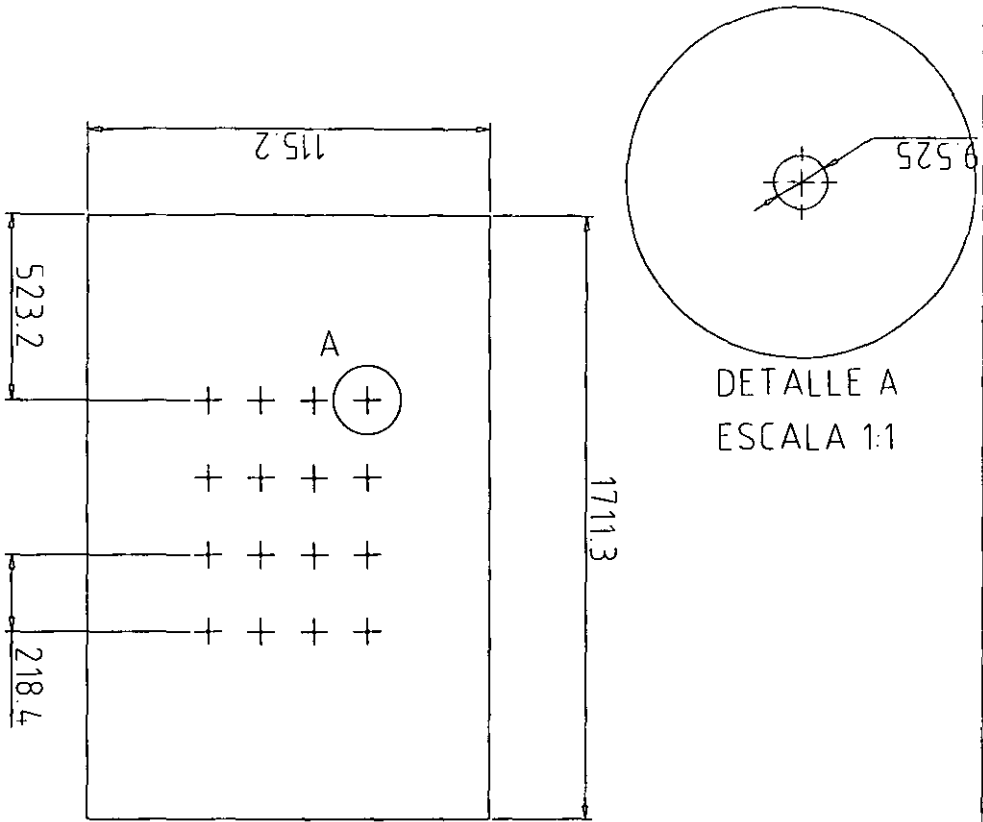
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN C 4 - UNAM

ESCALA: 1:16	ACOTACION. mm.	FECHA. 2001	REVISO: MING. F DIAZ
	TECHO DE FIBRA CERAMICA		DIBUJO <small>OSCAR MANUEL CARILLO JOSE VALENTIN MONROY JESUADALUPE AGUILAR</small>
			LAMINA No. 21/30



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN C 4 - UNAM

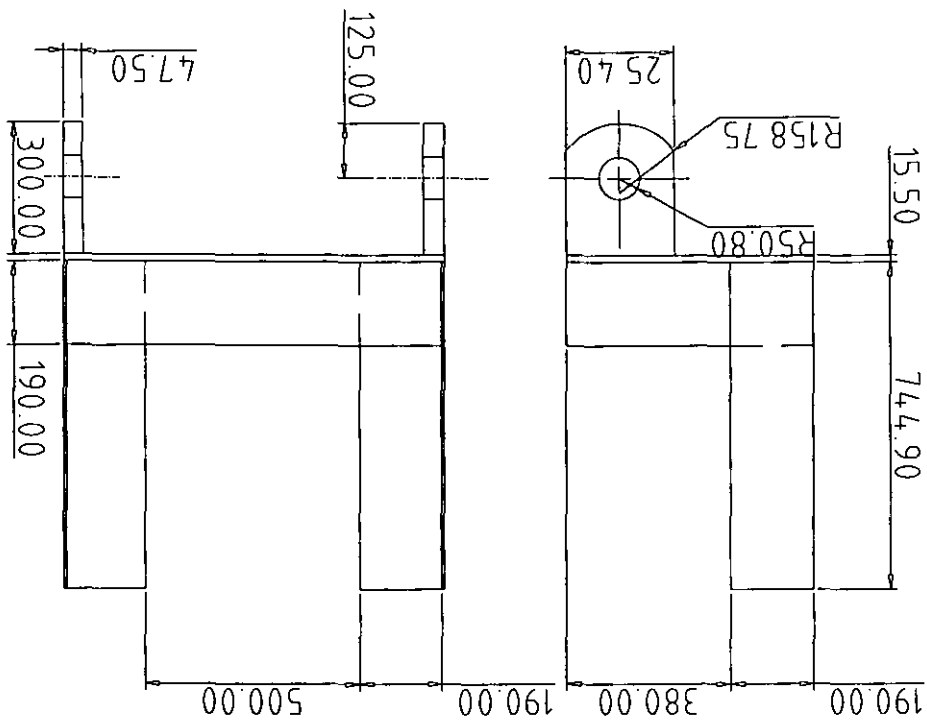
ESCALA: 1:16	ACOTACION mm	FECHA: 2001	REVISO: MING F DIAZ
	<p>PLACA 3/16" FRONTAL</p>		<p>DIBUJO OSCAR MANUEL CABELLO JOSE VALENTIN MONROY J GUADALUPE AGUILAR</p>
			<p>LAMINA No. 22/30</p>



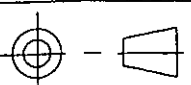
DETALLE A
ESCALA 1:1

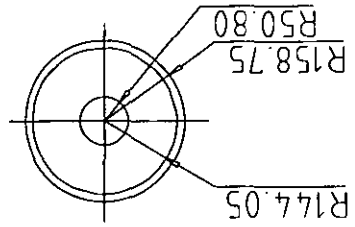
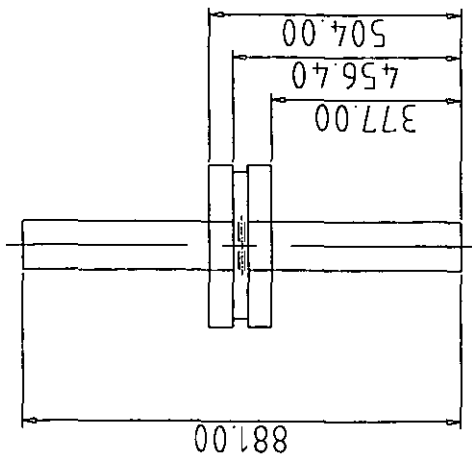
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN C 4 - UNAM

ESCALA: 1:16	ACOTACION: mm.	FECHA: 2001	REVISO: MING. F DIAZ
	<p>PLACA 3/16" TECHO</p>		<p>DIBUJO: OSCAR MANUEL CARELDO JOSE VALENTIN MONROY J GUADALUPE AGUILAR</p> <p>LAMINA No 23/30</p>



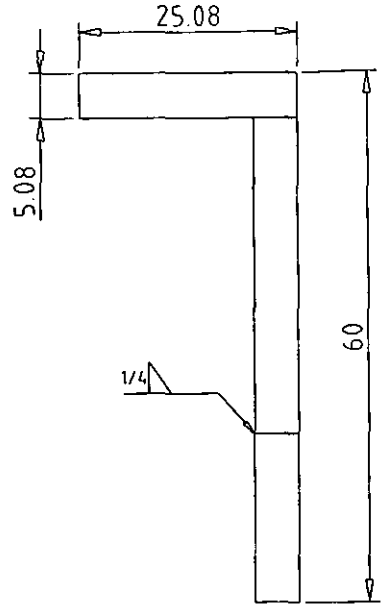
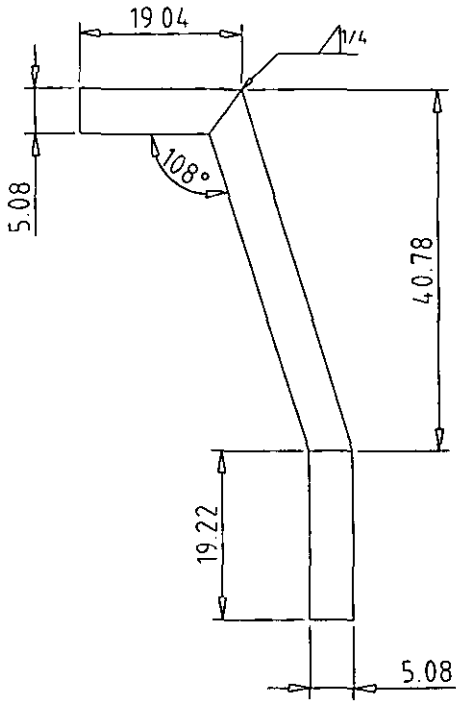
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN C 4 - UNAM

ESCALA: 1:16 	ACOTACION mm.	FECHA: 2001	REVISO MING F DIAZ
BASE DE POLEA			DIBUJO <small>OSCAR MANUEL CARILLO JOSÉ VALENTÍN MONROY GUADALUPE AGUILAR</small>
			LAMINA No. 24/30



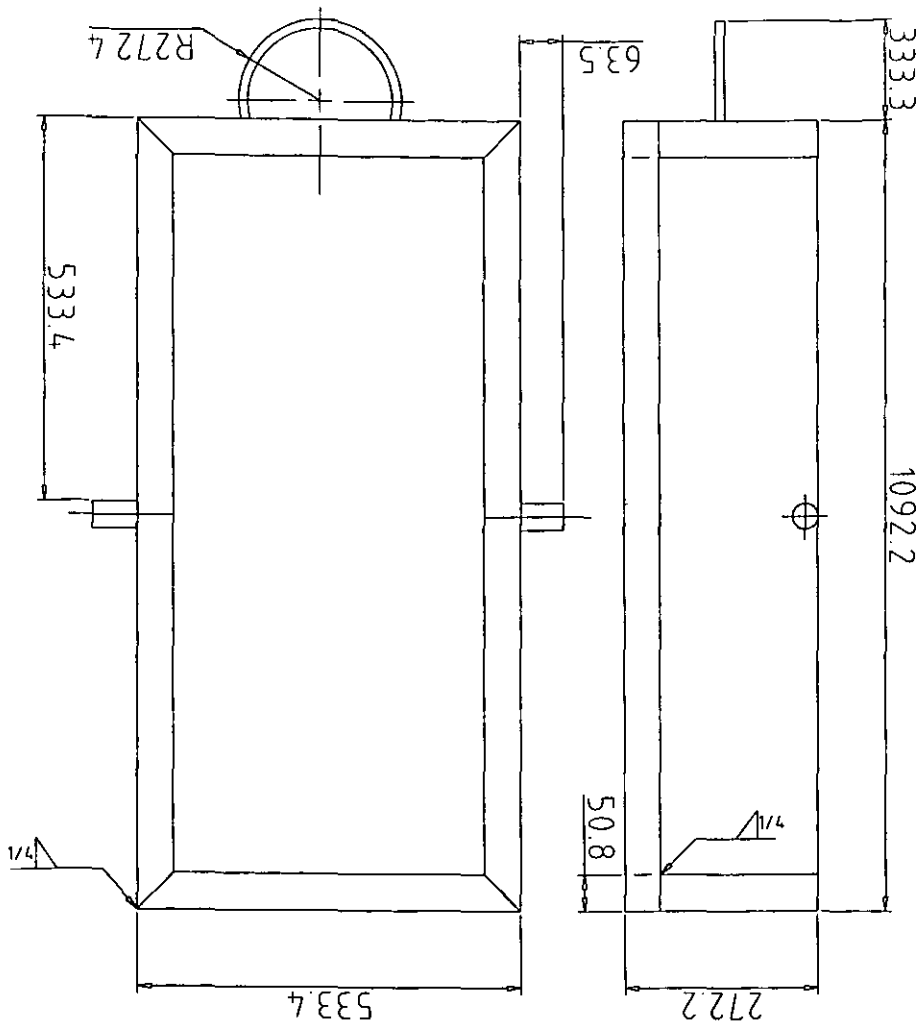
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN C 4 - UNAM

ESCALA: 1:16	ACOTACION: mm.	FECHA 2001	REVISO MING F DIAZ
	EJE DE LA POLEA		DIBUJO <small>OSCAR MANUEL CABELLO JOSÉ VALENTÍN MONROY J GUADALUPE AGUILAR</small> LAMINA No 25/30



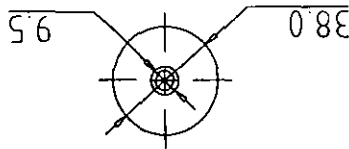
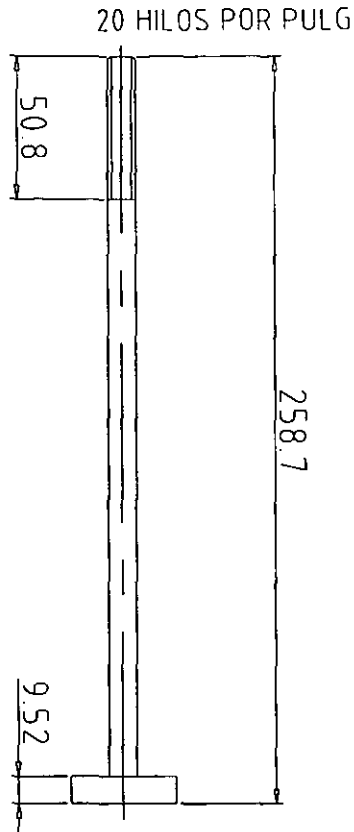
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN C.4 - UNAM

ESCALA: 1:16	ACOTACION: mm.	FECHA: 2001	REVISO: MING. F. DIAZ
	GUIAS DE SOLERAS DE 2"		DIBUJO <small>OSCAR MANUEL CARILLO JOSE VALENTIN MONROY IGUADALUPE AGUILAR</small>
			LAMINA No. 26/30



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN C 4 - UNAM

ESCALA: 1:6	ACOTACION. mm.	FECHA: 2001	REVISO: M.ING. F. DIAZ
	PUERTA		DIBUJO <small>OSCAR MANUEL CANELO JOSE VALENTIN MONROY J GUADALUPE AGUILAR</small> LAMINA No 27/30



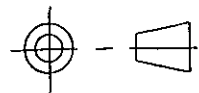
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN C 4 - UNAM

SCALA: 1:2

ACOTACION: mm.

FECHA: 2001

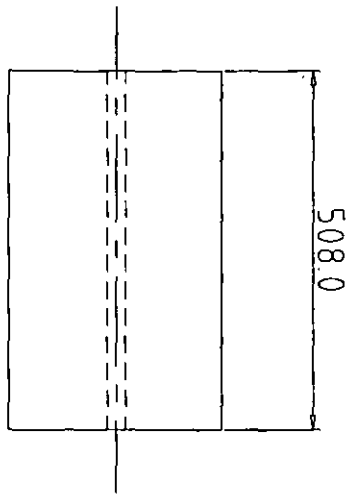
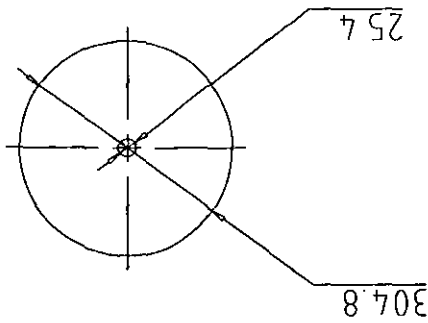
REVISO: MING F DIAZ



ANCLA

DIBUJO: OSCAR MANUEL CARILLO
JOSE VALENTIN MONROY
GUADALUPE AGUILAR

LAMINA No 28/30



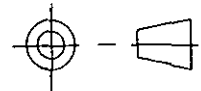
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN C 4 - UNAM

ESCALA: 1:8

ACOTACION mm.

FECHA: 2001

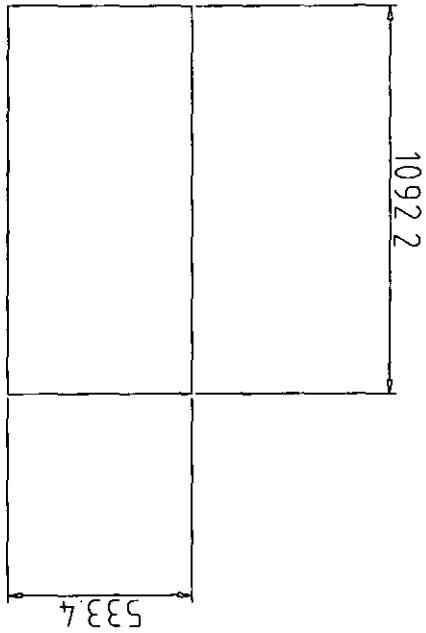
REVISO MING F DIAZ



CONTRA PESO

DIBUJO: OSCAR MANUEL CARILLO
JOSE VALENTIN MONROY
GUADALUPE AGUILAR

LAMINA No 29/30



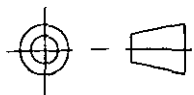
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN C 4 - UNAM

ESCALA . 1:16

ACOTACION. mm.

FECHA. 2001

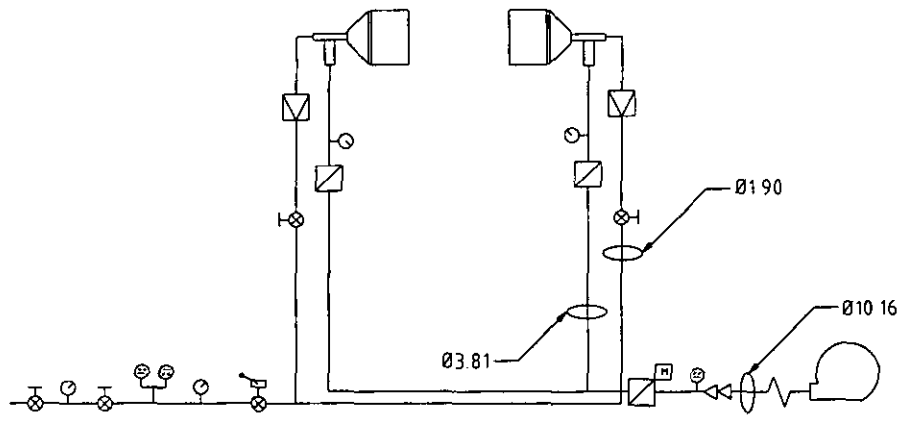
REVISOR. MING F DIAZ














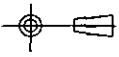
CONCRETO DE RELLENO
DE LA PUERTA

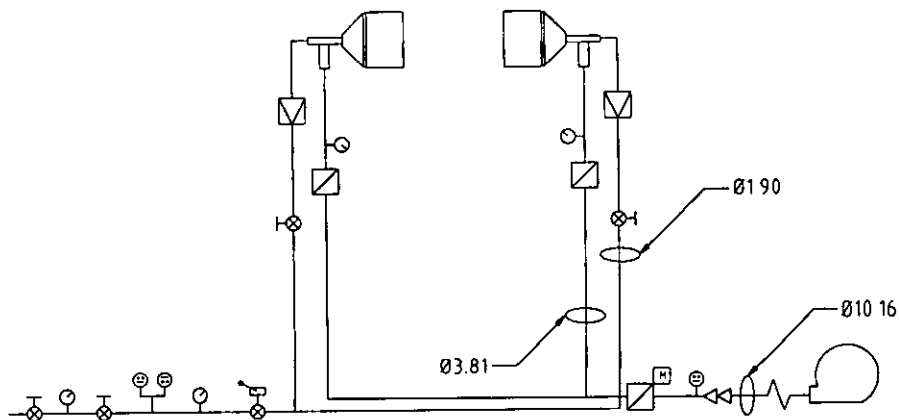
DIBUJO: OSCAR MANUEL CARILLO
JOSE VALENTIN MONROY
GUADALUPE AGUILAR

LAMINA No 30/30



-  MANÓMETRO
-  VÁLVULA DE GLOBO
-  VÁLVULA DE ORIFICIO LIMITANTE
-  VÁLVULA DE MARIPOSA MANUAL
-  VÁLVULA DE MARIPOSA MOTORIZADA
-  ACCESORIO DE REDUCCIÓN
-  PRESOSTATO N.C.
-  CONJUNTO DE PRESOSTATOS N.A. Y N.C.
-  ELECTROVÁLVULA DE SEGURIDAD
-  CONEXIÓN FLEXIBLE
-  VENTILADOR

14	1	TUBO DE 3/4 PULG.	ACE COM.	CEDULA 40
13	1	TUBO DE 1 1/2 PULG.	ACE COM.	CEDULA 40
12	1	TUBO DE 4 PULG.	ACE COM.	CEDULA 40
11	1	CONJUNTO DE PRESOSTATOS N.A. Y N.C.	ACE COM.	
10	2	REDUCCIÓN	ACE COM.	4-3 Y 3-1 1/2
9	2	QUEMADOR	ACE COM.	
8	2	VÁLVULA DE MARIPOSA MANUAL	ACE COM.	
7	1	VÁLVULA DE MARIPOSA MOTORIZADA	ACE COM.	
6	1	VENTILADOR	ACE COM.	
5	1	PRESOSTATO N.A.	ACE COM.	
4	4	VÁLVULA DE GLOBO	ACE COM.	
3	2	VÁLVULA DE ORIFICIO LIMITANTE	ACE COM.	
2	4	MANÓMETRO	ACE COM.	
1	1	ELECTROVÁLVULA DE SEGURIDAD	ACE COM.	
NO. PIEZA	CANTIDAD	DESIGNACIÓN	MATERIAL	OBSERVACIONES
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN C-4 UNAM				
ESCALA 1:1	ACOTAMIENTO cm.	FECHA 2001	REVISO MI F. DIAZ DEL CASTILLO	
	DIAGRAMA DE LA INSTALACIÓN GENERAL DE LA TUBERÍA AIRE-GAS		DIBUJO CARRILLO, AGUILAR, MONROY LAMPINA	



- PRESOSTATO N C
- CONJUNTO DE PRESOSTATOS N A Y N C
- ELECTROVÁLVULA DE SEGURIDAD
- CONEXIÓN FLEXIBLE
- VENTILADOR

- MANÓMETRO
- VÁLVULA DE GLOBO
- VÁLVULA DE ORIFICIO LIMITANTE
- VÁLVULA DE MARIPOSA MANUAL
- VÁLVULA DE MARIPOSA MOTORIZADA
- ACCESORIO DE REDUCCIÓN

14	1	TUBO DE 3/4 PULG	ACE COM	CECULA 40
13	1	TUBO DE 1 1/2 PULG	ACE COM	CECULA 40
12	1	TUBO DE 4 PULG	ACE COM	CECULA 40
11	1	CONJUNTO DE PRESOSTATOS N A Y N C	ACE COM	
10	2	REDUCCIÓN	ACE COM	4-3 Y 3-1 1/2
9	2	QUEHADOR	ACE COM	
8	2	VÁLVULA DE MARIPOSA MANUAL	ACE COM	
7	1	VÁLVULA DE MARIPOSA MOTORIZADA	ACE COM	
6	1	VENTILADOR	ACE COM	
5	1	PRESOSTATO N A	ACE COM	
4	4	VÁLVULA DE GLOBO	ACE COM	
3	2	VÁLVULA DE ORIFICIO LIMITANTE	ACE COM	
2	4	MANÓMETRO	ACE COM	
1	1	ELECTROVÁLVULA DE SEGURIDAD	ACE COM	
No. PIEZA	CANTIDAD	DESIGNACIÓN	MATERIAL	OBSERVACIONES
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN C-4 UNAM				
ESCALA 1:1	ACOTAMIENTO cm	FECHA. 2001	REVISÓ M I F DIAZ DEL CASTILLO	
	DIAGRAMA DE LA INSTALACIÓN GENERAL DE LA TUBERÍA AIRE-GAS		DIBUJO CARRILLO, AGUILAR, MONROY LAMINA	