

**UNIVERSIDAD DON BOSCO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA**



**DISEÑO DE UN HORNO PARA TRATAMIENTOS TERMICOS
ENFOCADO A LA INDUSTRIA CERAMICA.**

**TRABAJO DE GRADUACION
PARA OPTAR AL GRADO DE
INGENIERO MECANICO**



PRESENTADO POR:

**CACERES HERNANDEZ, ALEJANDRO ALFREDO
VASQUEZ ROMERO, ROMMEL RAFAEL
FUNES MARTINEZ, CARLOS MAURICIO**

**SEPTIEMBRE 2003
SOYAPANGO – EL SALVADOR – CENTROAMÉRICA**

**UNIVERSIDAD DON BOSCO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA**

AUTORIDADES:

RECTOR:

ING. FEDERICO MIGUEL HUGUET RIVERA

VICERRECTOR ACADEMICO:

PBRO. VICTOR BERMUDEZ, sdb

SECRETARIO GENERAL:

LIC. MARIO RAFAEL OLMOS

DECANO FACULTA DE INGENIERIA:

ING. CARLOS GUILLERMO BRAN

DIRECTOR DE ESCUELA INGENIERIA INDUSTRIAL Y MECANICA:

ING. RIGOBERTO SILVA

ASESOR DE TRABAJO DE GRADUACION:

ING. SATURNINO GAMEZ GUADRON

JURADO EVALUADOR:

ING. AGUSTIN BARRERA CARPIO

ING. JOAQUIN CASTELLON

ING. FRANCISCO DELEON TORRES

**UNIVERSIDAD DON BOSCO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA**

JURADO EVALUADOR DEL TRABAJO DE GRADUACION:

**“DISEÑO DE UN HORNO PARA TRATAMIENTOS TERMICOS
ENFOCADO A LA INDUSTRIA CERAMICA”**



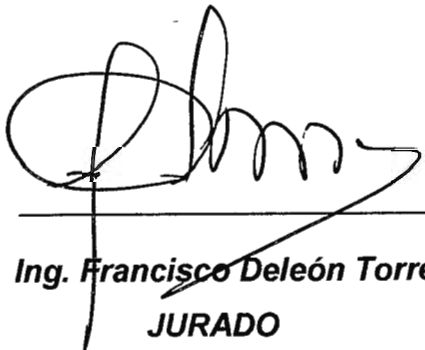
Ing. Agustín Barrera Carpio

JURADO



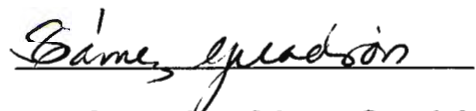
Ing. Joaquín Castellón

JURADO



Ing. Francisco Deleón Torres

JURADO



Ing. Saturnino Gámez Guadrón

ASESOR

AGRADECIMIENTOS:

Agradezco a Dios, mis padres, mis hermanos, a Michael Flores y mis compañeros de trabajo de graduación que de una manera u otra me brindaron todo su apoyo para optar al grado de Ingeniero Mecánico.

Alejandro Alfredo Cáceres Hernández.

AGRADECIMIENTOS:

A Dios Todo Poderoso, a mis Padres quienes han sido siempre mi apoyo y fortaleza, a todos mis hermanos que de una u otra forma me han brindado su ayuda, a todos mis amigos con quienes hemos compartido duros y gratos momentos (especialmente Jenny, Carlos, Alejandro y Alvaro), a todos muchas gracias por haberme ayudado a lograr tan anhelado triunfo.

Rommel Rafael Vásquez Romero.

AGRADECIMIENTOS:

A Dios todopoderoso a la Virgen María que me brindaron salud y fuerzas para lograrlo, a mi hermana y familia que me apoyaron en todo momento y especialmente a mis padres que con sacrificio, amor y dedicación me brindaron todo lo necesario en mi vida.

A todos les digo Muchas Gracias.

Carlos Mauricio Funes Martinez.

INDICE GENERAL

	PAGINA
1.0 INTRODUCCION	01
2.0 DEFINICION DEL TEMA	
2.1 Objetivo General	03
2.2 Objetivo Específico	03
3.0 ALCANCES	04
4.0 LIMITACIONES	05
CAPITULO I	
5.0 MATERIALES CERAMICOS	07
5.1 Generalidades	08
5.2 Composición y Estructura de Materiales Cerámicos	09
5.3 Antiplásticos o Desgrasantes	15
5.4 Propiedades Mecánicas y Térmicas de los Cerámicos	17
5.5 Elaboración de Piezas Cerámicas	19
5.6 Pastas Cerámicas	23
6.0 HORNOS: Tipos, Accesorios y Materiales Refractarios	25
6.1 Características de un Horno para Tratamientos Térmicos	25
6.2 Clasificación de Los Hornos	26
6.3 Determinación del Tipo de Combustible a Utilizar	27
6.3.1 Comparación entre Hornos Eléctricos y de Gas	27
6.4 Determinación de la Capacidad del Horno	33

6.5 Accesorios	
6.5.1 Chimenea	34
6.5.2 Quemadores Atmosféricos	35
6.5.3 Controladores de Temperatura	37
6.5.4 Reguladores de Presión	41
6.5.5 Programador (Protector)	43
6.5.6 Foto Celda Detectora de Flama	43
6.5.7 Actuador	43
6.6 Materiales Refractarios	
6.6.1 Fibras Producidas por CVD	45
6.6.2 Fibras de Alúmina y Mullita	46
6.6.3 Fibras de Nicalon y Tyranno	48
6.6.4 Fibras de Si-C-N-O	49
6.6.5 Fibras de Si ₃ N ₄	49
6.6.6 Fibras de Si-B-(N,C)	49
6.6.7 Fibras Monocristalinas	49
7.0 TRANSFERENCIA DE CALOR Y ANALISIS DE COMBUSTION	
7.1 Transferencia y Retención de Calor	52
7.2 Conducción en Estado Estacionario – Dimensiones Múltiples	55
7.3 Conducción de Calor en Estado Bidimensional; solución Gráfica	57
7.4 Transferencia de Calor por Convección Natural	62
7.5 Análisis de Combustión	64
7.6 Balance de Materias en las Combustiones Completas	65
7.6.1 Mezcla de Combustible Químicamente Uniformes	65
7.7 Potencia Calorífica	
7.7.1 Potencia Calorífica de los Combustibles	68

CAPITULO II

8.0 CRITERIOS PARA EL DISEÑO DEL HORNO	72
9.0 CONSIDERACIONES GENERALES	
9.1 Temperatura de los Gases Producidos por la Combustión	73
9.2 Trayectoria del Flujo de los Gases dentro del Horno	80
9.3 Volumen del Horno	82
9.4 Potencia Calorífica Requerida por el Volumen del Horno	82
9.5 Tipo de Fibra Cerámica a Utilizar	82
10.0 DISEÑO DEL HORNO	
10.1 Estructura Metálica del Horno	84
10.2 Diseño de las Paredes del Horno	85
10.2.1 Análisis de Transferencia de Calor para un Horno de Forma Cúbica	88
10.2.1.1 Pérdidas de Calor por Conducción	88
10.2.1.2 Pérdidas de Calor por Convección	93
10.2.2 Análisis de Transferencia de Calor para un Horno Rectangular	100
10.2.2.1 Pérdidas de Calor por Conducción	101
10.2.2.2 Pérdidas de Calor por Convección	105
10.3 Determinación de los Sistemas de Alimentación y Operación del Horno	116
10.3.1 Sistema de Alimentación	116
10.3.2 Sistema de Operación	116
11.0 DETERMINACION DEL COSTO DEL DISEÑO DEL HORNO	
11.1 Costos de Construcción	118
11.2 Costos de Equipos y Accesorios	118

12.0 ANALISIS DEL FUNCIONAMIENTO DEL HORNO	119
12.1 Análisis de los Esfuerzos Producidos en las Pastas Cerámicas	119
12.2 Análisis Transitorio	122
12.3 Distribución de Temperatura	126
12.4 Temperatura de los Gases de Salida	133
12.5 Carga Máxima de las Piezas a Introducir	135
13.0 CONSIDERACIONES PARA MINIMIZAR EL IMPACTO AMBIENTAL GENERADO POR LA INDUSTRIA CERAMICA	
13.1 Cómo Purificar los Efluentes	138
13.1.1 Depuración de Efluentes Gaseosos	138
13.1.2 Depuración de Efluentes Líquidos	139
13.1.3 Depuración de Efluentes Sólidos	139
14.0 VENTAJAS DEL DISEÑO PROPUESTO	140
15.0 ANALISIS ECONOMICO	
15.1 Tiempo de Recuperación	141
16.0 GUIA DE USO DEL PROGRAMA DE SIMULACION DEL DISEÑO DEL HORNO	143
17.0 CONCLUSIONES	157
18.0 RECOMENDACIONES	158
GLOSARIO DE TERMINOS CERAMICOS	159
BIBLIOGRAFIA	166

ANEXOS

Anexo 1: Tablas con Ubicación y Características de la Arcilla En El Salvador	168
Anexo 2: Flujograma del Proceso de Elaboración de Piezas Cerámicas	173
Anexo 3 Tabla Resumen de las Características de las Fibras Cerámicas más Utilizadas en el Mercado	174
Anexo 4	
Anexo 4a: Factores de Forma para algunas Configuraciones Bidimensionales Comunes	175
Anexo 4b: Propiedades del Aire a Presión Atmosférica	177
Anexo 4c: Ecuaciones Simplificadas para el Coeficiente De Transferencia de Calor	178
Anexo 5	
Anexo 5a: Tabla con Valores de Entalpía de Formación Para algunos Gases	179
Anexo 5b: Propiedades del Oxígeno Diatómico (O ₂)	180
Anexo 5c: Propiedades del Nitrogeno Diatómico (N ₂)	182
Anexo 5d: Propiedades del Dióxido de Carbono (CO ₂)	184
Anexo 5e: Propiedades del Agua (H ₂ O)	186
Anexo 6: Catálogo de Ladrillo Refractario OXGASA	188
Anexo 7: Características de algunas Fibras Cerámicas	194
Anexo 8: Manual de Operación y Mantenimiento del Sistema del Quemador de Llama Continua	205
Anexo 9: Información útil sobre el Gas Licuado del Petróleo	219
Anexo 10: Índice de Tablas Efectivas	220
Anexo 11: Índice de Figuras Efectivas	222
Anexo 12: Gráfica de Schmidt	224

1.0 INTRODUCCION

Existe en nuestro país un sector muy importante que juega un papel especial en el ámbito económico y cultural, estamos hablando de la industria cerámica, que se dedica a la creación de todo tipo de adornos y recuerdos para distintas ocasiones, de las cuales la pequeña y la mediana empresa constituyen la gran mayoría.

Estas empresas debido a la falta de conocimientos técnicos o recursos económicos no cuentan con la infraestructura o equipos adecuados para su trabajo; tomamos como ejemplo los hornos que utilizan para distintas actividades como el secado de las piezas y el esmaltado de las mismas, estos hornos en algunos casos los construyen de forma artesanal, con ladrillos que se apilan alternados con el combustible (leña, gas) y después los cubren con tierra, a continuación le encienden por debajo del horno y se deja que el fuego avance a través del mismo, aspirando el aire, alcanzando temperaturas variadas dentro del espacio, una vez terminado el trabajo se derrumba el conjunto. Surge entonces un problema debido a que a veces las piezas que se les da tratamiento térmico se dañan o no quedan bien terminadas, implicando gasto extra de tiempo y dinero. También en otros casos ya disponen de un horno específico para dar tratamiento térmico a sus productos, pero por no contar con información técnica o una ayuda para el diseño, la construcción de este tipo de horno resulta en costos elevados.

Este proyecto denominado “Diseño de un Horno para Tratamientos Térmicos Enfocado a la Industria Cerámica”, pretende dar las bases para la construcción de un horno, que se diseñará tomando en cuenta las variables que afectan tanto al proceso del tratamiento en sí (temperatura del tratamiento, tiempo, material a tratar térmicamente, cantidad de piezas), así como también el factor económico.

Todo el documento aborda de manera general los aspectos que juegan un papel especial en el diseño como por ejemplo: recursos, disposición de elementos, metodología y técnicas a utilizar.

El proyecto incluye también un software de simulación, el cual permitirá acomodar el diseño del horno a los distintos requerimientos de las empresas, variando parámetros como el volumen de producción, niveles de temperaturas y tiempo de duración del tratamiento, de esa forma, cada empresa podrá tener un diseño que se acerque a sus necesidades productivas.

2.0 DEFINICION DEL TEMA

2.1 Objetivo General

- Diseñar un Horno para Tratamientos Térmicos que sirva como herramienta a las industrias dedicadas al rubro de la cerámica para su futura construcción.

2.2 Objetivos Específicos

- Ofrecer una alternativa que contribuya a resolver de manera concreta y directa el problema que tiene las pequeñas y medianas empresas con los hornos que utilizan para los procesos de tratamientos térmicos, a través del análisis de transferencia de calor y la selección adecuada de dispositivos y materiales.
- Crear el diseño al alcance económico y técnico del sector cerámico, que mejore la competitividad y sea funcional, para esto en el Capítulo II se analizan variables importantes como temperatura, tiempo de tratamiento, tamaño y forma de las piezas, homogeneización de la temperatura dentro del horno.
- Elaborar un software de simulación del diseño del horno, que sirva como complemento a las empresas, para que obtengan un diseño que se adapte al de sus necesidades, para esto el trabajo viene acompañado de dicho software con su respectivo manual de funcionamiento.

3.0 ALCANCES

El proyecto “Diseño de un Horno para Tratamientos Térmicos Enfocado a la Industria Cerámica”, pretende ser un documento que sirva como una guía que los empresarios puedan tener a su disposición y con la información técnica necesaria para poder construir un horno que cumpla con sus necesidades. Básicamente el diseño del horno esta enfocado en tres tratamientos muy importantes los cuales son:

- Bizcochado
- Vidriado
- Tratamiento Especial: Pega de Calcomanías, Logos, Dibujos.

Los cuales en conjunto abarcan productos decorativos como por ejemplo: Todo tipo de adornos, vasos y tazas decorativas, y recuerdos de todo tipo de eventos.

También se pretende con este proyecto, dejar una fuente que reúna toda la información referente al diseño (Criterios, Accesorios, Materiales, Técnicas) de este tipo de hornos, para que puedan ser utilizados por estudiantes u otros tipos de personas que la necesiten.

Adicional a esto, el documento puede servir como una herramienta para mejorar la productividad de las empresas, debido a que el diseño del horno pretende adaptarse a las necesidades de las mismas.

4.0 LIMITACIONES

Una limitante del proyecto radica en una posible negativa por parte de los empresarios, en proporcionar información referente a volúmenes de producción y datos técnicos de sus procesos y/o materiales, que son necesarios para efectuar un diseño apegado a sus necesidades, así como también, la falta de apoyo que puede llegar a tener, si el objetivo del proyecto es que las empresas cuenten con una guía para la construcción de hornos, es necesario hacer las gestiones necesarias con organismos gubernamentales, como la ASI (Asociación Salvadoreña de la Industria), Cámara de Comercio, ONG's, para que sean ellas las encargadas de canalizar el proyecto a las empresas y de esta forma llegar a aquellas que necesiten ayuda.

Otra limitante es que al no efectuar una construcción del horno, el comportamiento real del mismo no será comprobado, esto se tratará de compensar con un análisis teórico del funcionamiento del horno, el cual se desarrollará en el trabajo. La decisión de la no construcción del horno radica en la falta de recursos económicos que en este momento se tiene para la realización del proyecto.

CAPITULO I

5.0 Materiales Cerámicos

6.0 Hornos: Tipos, Accesorios y Materiales Refractarios

7.0 Transferencia de Calor y Análisis de Combustión

5.0 MATERIALES CERAMICOS

Los materiales cerámicos abarcan muchas aplicaciones, así se tiene desde la cerámica decorativa, hasta el uso en aplicaciones de ingeniería, como por ejemplo, en turbinas de gas o circuitos integrados. El tratamiento de este tipo de materiales cerámicos aplicados a la ingeniería esta fuera del alcance de este trabajo.

La palabra cerámica, de origen griego “ceramos”, significa arcilla; la cerámica propiamente dicha aparece cuando el hombre descubre la capacidad de endurecimiento de la arcilla mediante la cocción. En realidad es más un procedimiento técnico que una manifestación artística, si bien cuando se habla de cerámica se piensa habitualmente en recipientes hechos de barro arcilloso sometido a altas temperaturas de cocción.

Este Capítulo trata de las generalidades de la cerámica así como del estudio de la composición y estructura de los materiales cerámicos. Se presentan los elementos que son necesarios para preparar una pasta cerámica y los efectos que cada uno de ellos provoca en la mezcla; se muestran las propiedades mecánicas y térmicas de los cerámicos, además del proceso de elaboración de piezas cerámicas.

También se especifican los diferentes porcentajes de las pastas para trabajo a mano y las pastas de Gres; se debe aclarar que las pastas para trabajo a mano son las utilizadas en la fabricación de cerámica decorativa, la cual es el tipo de cerámica de interés para el proyecto.

En la sección de anexos se presentan tablas con la ubicación, nombre, cantidad y características de los depósitos de arcilla en El Salvador (Anexo 1), el cual se puede consultar como información complementaria.

5.1 Generalidades

Según sea la composición del barro, del revestimiento y de la temperatura de la cocción, los productos de cerámica se dividen en:

Productos de Cuerpo Poroso:

- Terracota: de cuerpo poroso, coloreado, sin revestimiento.
- Mayólica: de cuerpo poroso con revestimiento transparente (barniz) u opaco (esmalte)
- Loza: de cuerpo poroso blanco.

Productos de Cuerpo Compacto:

- Porcelana: de cuerpo compacto blanco.
- Gres: de cuerpo compacto coloreado.

La arcilla es la materia prima que permite al ser humano confeccionar la cerámica, es una roca natural que cubre prácticamente la mayor parte de la corteza terrestre. Existen dos clases básicas de arcilla: primaria y secundaria. La primera es muy pura, de color blanco y poca plasticidad; se trata de material en estado mineral (depósitos explotables), compuesto generalmente de feldespatos derivados de la descomposición química de las rocas de las que procede, y que se realiza través de millones de años.

La arcilla de mayor familiaridad es la secundaria, que ha ido separándose a lo largo de muchos años de su localización original, por la acción del viento y del agua hasta quedar depositada en otros lugares, donde es contaminada por impurezas tales como humus, arena, cal y partículas silíceas, formando las tierras que comúnmente se conocen como barro. Su color oscila del rojo al negro, pasando por el amarillo y el gris; y en contraste con la arcilla primaria, es fácil de moldear.

La plasticidad de una arcilla es su propiedad de retener la forma que se le da en estado húmedo, y esta relacionada con el tamaño de grano. Cuanta más plástica sea una arcilla tanto más pequeño será el tamaño de sus granos. Químicamente hablando, la arcilla es silicato de alúmina, es decir, roca compuesta por sílice, óxido de aluminio y agua.

La calidad de la arcilla se determina, por el porcentaje de alúmina que ésta contiene: los mejores porcentajes son generalmente desde un 24% hasta un 35% de alúmina. Generalmente las arcillas aparecen impurificadas por sustancias extrañas de grano grueso, que se eliminan por lavado y tamizado.

5.2 Composición y Estructura de los Materiales Cerámicos

Antes de hablar de la composición y estructura de los materiales cerámicos, se tienen que conocer los enlaces existentes entre los átomos que lo conforman, debido a que son estos enlaces los que determinan el tipo de estructura cristalina que se formará en el compuesto cerámico.

Enlaces Iónicos y Covalentes

Los enlaces existentes entre los compuestos cerámicos son una mezcla entre enlaces iónicos y covalentes, en ese sentido se muestra la Tabla 5.1 donde se especifica el porcentaje de carácter iónico y covalente. La Tabla 5.2 muestra el punto de fusión de algunos compuestos cerámicos¹.

¹ Para un análisis más profundo de los enlaces iónicos y covalentes, referirse al libro texto Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales, Willim F. Smith, 1998, tercera edición.

TABLA 5.1: Porcentajes de carácter iónico y covalente del enlace para algunos compuestos Cerámicos. (Smith 1998, p 497)

Compuesto Cerámico	Átomos enlazados	Diferencia de Electronegatividad	% Carácter iónico	% Carácter covalente
Oxido de Magnesio, MgO	Mg – O	2.3	73	27
Oxido de Aluminio, Al ₂ O ₃	Al – O	2.0	63	37
Dióxido de silicio, SiO ₂	Si – O	1.7	51	49
Nitruro de silicio, Si ₃ N ₄	Si – N	1.2	30	70
Carburo de silicio, SiC	Si – C	0.7	11	89

TABLA 5.2: Compuestos Cerámicos sencillos con sus puntos de Fusión. (Smith 1998, p. 497)

Compuesto Cerámico	Punto de Fusión (°C)	Compuesto Cerámico	Punto de Fusión (°C)
Carbono de Hafnio, HfC	4150	Carburo de Boro, B ₄ C	2450
Carburo de Titanio, TiC	3120	Oxido de Aluminio, Al ₂ O ₃	2050
Oxido de Magnesio, MgO	2798	Nitruro de silicio, Si ₃ N ₄	1900
Carburo de silicio, SiC	2500	Dióxido de Titanio, TiO ₂	1605

Composición

La cerámica, que tradicionalmente se ocupa para trabajos decorativos, está formada por 3 compuestos: *arcilla*, *sílice* y *feldespato*. La arcilla está compuesta principalmente por silicatos de aluminios hidratados (Al₂O₃, SiO₂, H₂O) con pequeñas cantidades de otros óxidos como TiO₂, Fe₂O₃, MgO, CaO, Na₂O y K₂O. En la Tabla 5.3 se muestra la composición química de algunas arcillas industriales

TABLA 5.3: Composiciones Químicas de algunas Arcillas. (Smith 1998, p 497)

Tipo de Arcilla	Porcentaje en peso de los óxidos principales									Pérdida por ignición
	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O	
Caolín	37.4	45.5	1.68	1.30	0.004	0.03	0.011	0.005	13.9	
Arcilla Plástica de Ten.	30.9	54.0	0.74	1.50	0.14	0.20	0.45	0.72	11.4
Arcilla Plástica de Ky.	32.0	51.7	0.90	1.52	0.21	0.19	0.38	0.89	12.3

Las arcillas en los materiales cerámicos tradicionales se pueden trabajar antes de que el material se endurezca por el fuego y constituyen el cuerpo principal del material. La sílice (SiO₂), también llamada sílex o cuarzo, funde a altas temperaturas y es el material refractario de los cerámicos tradicionales. El feldespato potásico, que tiene de composición básica K₂O, Al₂O₃, 6SiO₂, funde a bajas temperaturas y se transforma en vidrio cuando la mezcla cerámica se somete a alta temperaturas.

Estructura

Básicamente el tipo de estructura de los materiales cerámicos es el tetraedro (Ver Figura 5.1), que corresponde a la estructura de los silicatos, esta posee átomos de silicio y oxígeno (iones) que se juntan para formar la estructura mencionada anteriormente. Un gran número de formaciones naturales de tipo mineral, tales como arcillas, feldespato y micas son silicatos, ya que el silicio y el oxígeno son los dos elementos más abundantes encontrados en la corteza terrestre.

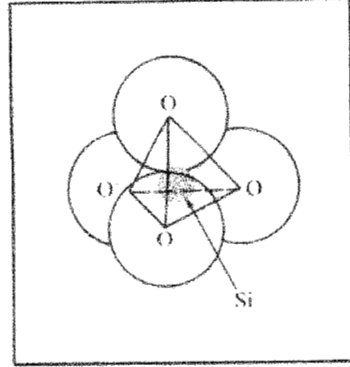


FIGURA 5.1: Disposición de los enlaces atómicos de los Tetraedros. (Simth, p 498)

En la figura se puede observar que 4 átomos de Oxígeno (O), rodean a un átomo de Silicio, debido al pequeño y altamente cargado ión Si^{4+} , se crean grandes fuerzas de enlaces dentro del tetraedro y como resultado, los átomos se encuentran normalmente unidos vértice con vértice y raramente arista con arista. Cuando todos los vértices del tetraedro comparten átomos de oxígeno se forma una red de SiO_2 llamada Sílice. La sílice cristalina existe en muchas formas polimorfas que corresponden a las diferentes maneras en las cuales los tetraedros de silicatos están dispuestos con todos los vértices compartidos. Así 2 de las numerosas redes que se pueden formar son la de los Feldespato y Sílice. Existen tres estructuras básicas de sílice: *Cuarzo*, *Tridimita* y *Cristobalita*, cada una aparece a una determinada temperatura. En la siguiente tabla se muestra los rangos de temperatura a la cual se forman este tipo de estructuras.

Estructura	Temperatura
Cuarzo Inferior	Por debajo de 573°C
Cuarzo Superior	Entre 573 y 867°C
Tridimita Superior	Entre 867 y 1470°C
Cristobalita Superior	Entre 1470 y 1710°C

TABLA 5.4: Rango de Temperaturas de transformaciones alotrópicas de la sílice (Smith 1998, p 502)

Es importante mencionar que a temperaturas mayores de 1710°C, la sílice se vuelve líquida. Estos tipos de transformaciones son muy importantes, debido a que los átomos están unidos con demasiada fuerza, es necesario que los cambios se den en forma lenta. Aquí se ve la importancia de diseñar un horno con un ritmo de aumento de temperatura gradual, en la medida que de tiempo que este tipo de estructuras se vayan formando lentamente, para que no se produzcan daños en la pieza. Si cualquiera de este tipo de estructuras llegara a formarse muy rápidamente, esta empujaría con demasiada fuerza a la red que tenga adyacente y de esta forma se produciría deformaciones en la pieza cerámica o rajaduras en la misma.

En la siguiente figura se muestra una gráfica de las transformaciones alotrópicas de la sílice:

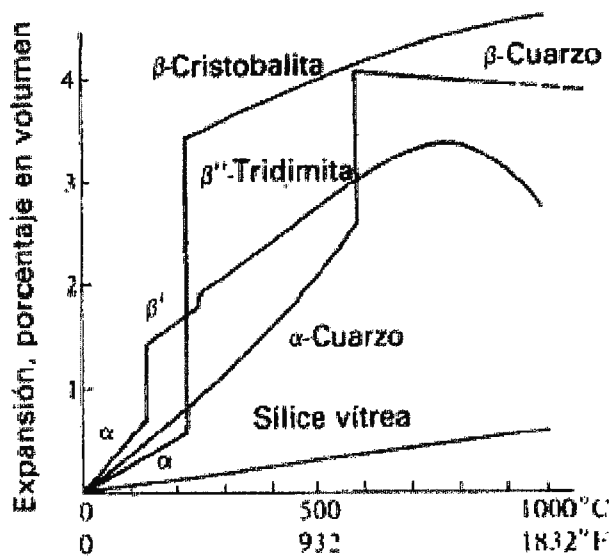


FIGURA 5.2: Cambios de Volumen con temperaturas de estructura de sílice (Trojan, 1989, p 323)

Los materiales cerámicos comúnmente se les denominan *Triaxiales*, por estar formados por tres componentes: Arcilla, Sílice y Feldespato. Los cambios de estructura que sufren estos compuestos al momento del tratamiento térmico dentro del horno aún no están entendidos por completo debido a su complejidad. En la siguiente tabla se presenta lo que probablemente ocurre a una pasta cerámica al momento del horneado

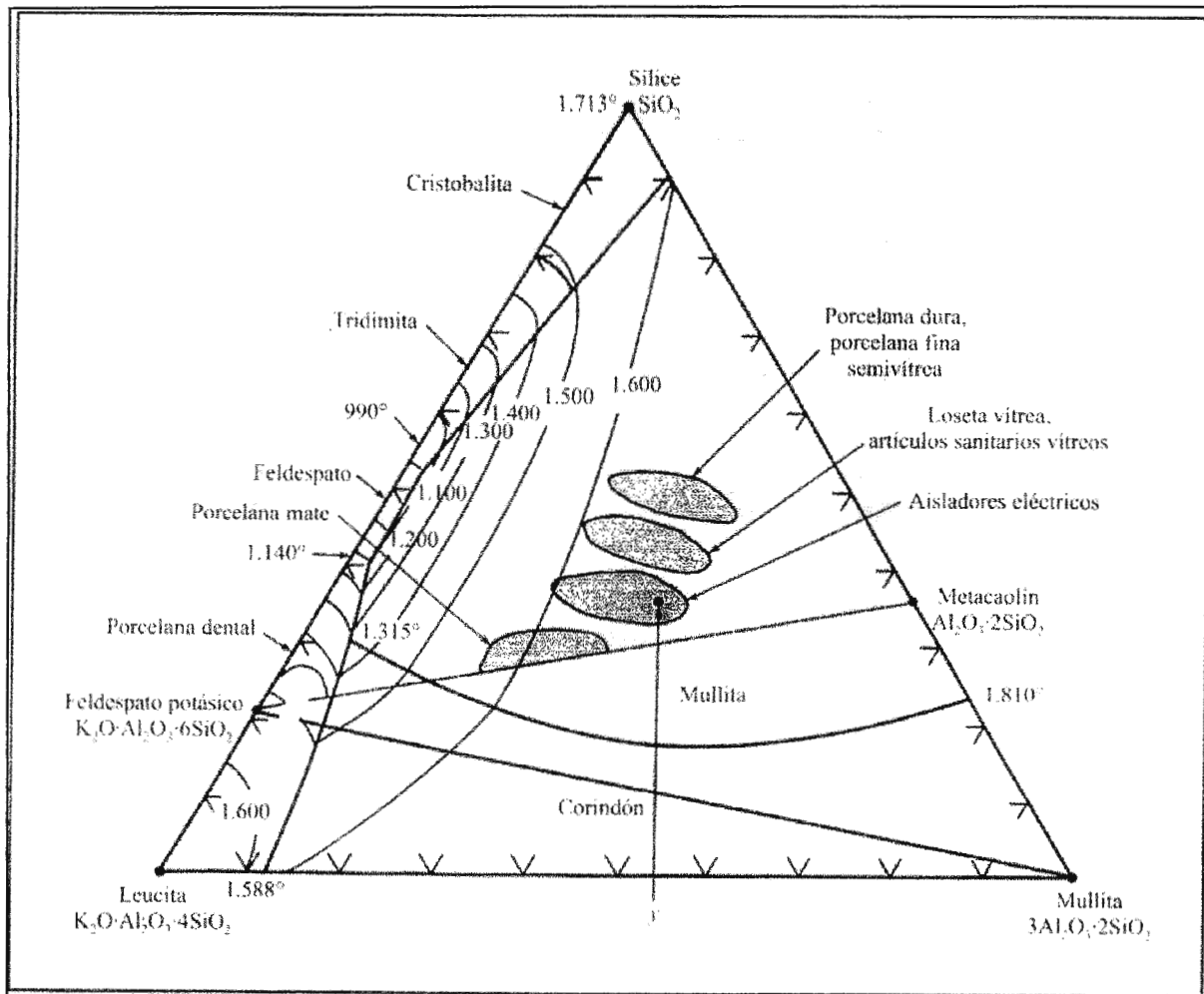
TABLA 5.5: Historia Térmica de una pasta triaxial. (Smith 1998, p 520)

Temperatura (°C)	Reacciones
Hasta 100	Pérdidas de humedad
100 – 200	Se elimina el agua absorbida
450	Dehidroxilación
500	Oxidación de materia orgánica
573	Inversión del cuarzo a la forma superior. Pocas modificaciones volumétricas globales.
980	Las espinelas se forman a partir de arcillas. Empieza la contracción.
1000	Formas de mullita primaria
1050 – 1100	Se forma vidrio a partir del feldespato, crece la mullita, continúa la contracción.
1200	Más vidrio, crece la mullita, los poros se cierran, algo de cuarzo en solución.
1250	60% vidrio, 21% mullita, 19% cuarzo, mínimos poros

Un tiempo prudente de duración del tratamiento térmico de las piezas cerámicas es alrededor de 5 a 6 horas, en este tiempo se eleva la temperatura hasta los 1100°C, que es la temperatura donde se forma el vidrio que recubre las piezas (vidriado), más adelante tocaremos este tipo de tratamiento térmico.

Los rangos de temperatura son muy importantes, debido a que dependiendo de estos, se formarán las estructuras cristalinas mencionadas anteriormente, en la figura 5.3 se muestra las temperaturas de transformación con sus respectivas estructuras de algunos materiales cerámicos.

FIGURA 5.3: Areas triaxiales correspondientes a composiciones de cerámica fina que se muestran Sobre el diagrama de fases de equilibrio sílice-leucita-mullita. (Smith 1998, p 521)



5.3 Antiplásticos o Desgrasantes

Para preparar adecuadamente una pasta cerámica, no se usa arcilla sola, sino que se le añaden y mezclan partículas artificiales, conocidas como antiplásticos o desgrasantes dependiendo de la plasticidad natural de la arcilla, de lo contrario la pieza se rajaría o se deformaría durante el secado, o presentaría muchos otros defectos después de la cocción.

Entre los materiales antiplásticos que son utilizados se tienen:

- **Carbonato de Calcio.** Es el fundente más enérgico de bajas temperaturas, que ayuda a vitrificar a temperaturas bajas (menos de 1000°C). Favorece la buena adaptación de los esmaltes a las pastas. Se distingue del feldespato y del cuarzo en que burbujea intensamente al agregarle gotas de cualquier ácido.
- **Feldespato.** Es una roca silícea, con alúmina y álcalis. Es importantísimo para altas temperaturas, porque comienza a hacer vitrificar las pastas no bien sobrepasan las 1150°C. Es un buen antiplástico, cuya acción fundente se intensifica en el calor.
- **Cuarzo.** Este material eleva la temperatura de fusión de una pasta, aumenta su resistencia y es un buen antiplástico. Su función es aumentar la dilatación térmica de la pasta, una pasta con mucho cuarzo se dilatará mucho al calor de cocción.
- **Dolomita.** Su acción es similar a la del carbonato de calcio, debido a que es una roca compuesta de carbonato de cal de magnesita.
- **Talco.** Se trata de una roca compuesta por silicato de magnesita, ejerce una acción fundente sobre la pasta, la cual se intensifica a temperaturas más elevadas; pero su acción más importante es la de aumentar mucho su resistencia al choque térmico, es decir, que las piezas hechas con pastas de talco pueden sufrir cambios bruscos e intensos de temperatura sin que se rajen.
- **Chamote.** Estos son granos de pasta bizcochada que se usan para incluirlos en otras pastas con el fin de texturarlas, reducir su contracción de secado y aumentar su resistencia al choque térmico.

Se tiene que tener en cuenta que estos antiplásticos pueden venir ya sea mezclados con la arcilla o por separado y mezclarse al momento de efectuar la pasta, esto dependiendo del tipo de fabricante.

5.4 Propiedades Mecánicas y Térmicas de los Cerámicos.

Propiedades Mecánicas

Resistencia a la tracción	Esta propiedad varía enormemente, con rangos que van desde 0.69 hasta 7×10^3 MPa para monocristales de cerámica, tales como el Al_2O_3 .
Resistencia a la compresión	Los cerámicos también exhiben grandes diferencias en su resistencia a la compresión, siendo ésta normalmente alrededor de 5 a 10 veces más alta que la resistencia a la tracción.
Plasticidad	<p>Los cerámicos enlazados covalentemente son frágiles, tanto en los estados monocristalinos como en los policristalinos, puesto que los enlaces entre sus átomos son específicos y direccionales, de manera que provocan la intervención del intercambio de carga electrónica entre pares de electrones. Cuando estos cristales se someten a esfuerzos considerables, muestran una fractura quebradiza debida a la separación de pares de electrones, sin que estas se vuelvan a formar nuevamente.</p> <p>En los cerámicos monocristalinos de sólidos enlazados iónicamente (como el Óxido de Magnesio y el Cloruro de Sodio), se presentan deformaciones plásticas considerables bajo esfuerzos de compresión a temperatura ambiente. Sin embargo, los cerámicos policristalinos enlazados iónicamente son frágiles, formándose las grietas en los bordes de grano.</p>
Tenacidad	Debido a la combinación de enlaces iónicos y covalentes de los materiales cerámicos, estos poseen baja tenacidad.

Propiedades Térmicas

La mayoría de los materiales cerámicos tienen bajas conductividades térmicas debido a sus fuertes enlaces iónico-covalentes y son muy buenos aislantes térmicos. En la figura 5.4 se comparan las conductividades térmicas de muchos materiales cerámicos en función de la temperatura.

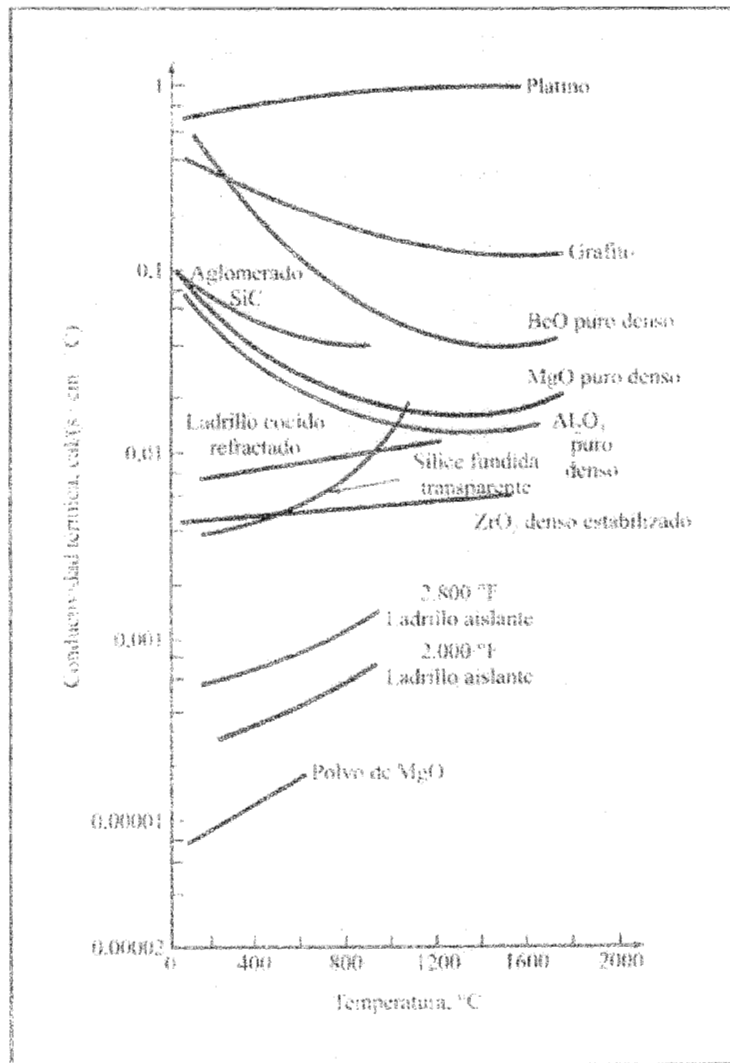


FIGURA 5.4: Conductividad Térmica (Escala Logarítmica) de materiales cerámicos en un Amplio rango de temperaturas. (Smith, pág. 539)

5.5 Elaboración de Piezas Cerámicas

Al igual que cualquier proceso de producción, la elaboración de las piezas cerámicas consta de una serie de fases sucesivas:

Preparación del Barro o Pasta

La preparación del barro tiene lugar después del lavado y decantación realizado mediante el sistema de cubetas en pendiente. El desmenuzamiento de los materiales se hace por medio de molinos de agua apropiados. Hoy en día las empresas compran las bolsas ya preparadas de la pasta donde solamente la mezclan con agua y la baten. Aquí dependiendo de la forma en que vienen los antiplásticos se agregan a la mezcla si vienen por separado.

Modelado

El modelado en su forma más simple es el realizado a mano. Se obtiene presionando con los dedos, utilizando la palma de la mano ahuecada o superponiendo rollos de arcilla en espiral para dar altura a las paredes del recipiente. La aparición de la rueda (3000 A. C.) llevó al empleo del torno que permite mayor regularidad en el grosor y acelera el proceso de elaboración de objetos de forma redondeada. Aunque no se puede precisar, parece que el torno de alfarero se utilizó en el tercer milenio A.C. en Egipto. El primer paso fue un simple disco plano que el alfarero hacía girar para trabajar con las manos mojadas una pieza que, previamente, había realizado por el método del enrollado. Posteriormente, este disco se ajustó a un eje que giraba accionado por la mano.

La verdadera innovación fue la incorporación del disco inferior que permitía velocidad constante y controlable y dejaba las manos libres para modelar la pieza. A fines del segundo milenio A.C. las vasijas se hacían ya en un torno accionado con los pies, si bien el tipo actual no se logra hasta el Renacimiento.

El torno de alfarero está formado por un gran disco de madera que al accionarse con el pie gira horizontalmente y eleva en su eje una pequeña mesa sobre la que se coloca la pieza que se va a tornear. La rotación dada al disco grande transmite un movimiento giratorio al bloque de arcilla que el alfarero modela con sus manos. Las asas, pies, bocas, etc. se añaden posteriormente, cuando ya la pieza se ha endurecido algo o se sueldan mediante una cola arcillosa, la barbotina, después de la segunda cocción. El procedimiento del molde (de yeso, de barro cocido, madera u otros materiales) se usa básicamente para objetos de grandes dimensiones o no redondos.

Secado

El secado se realiza directamente al aire libre en un ámbito de temperatura caliente y constante. Mediante esta operación la arcilla pierde gran cantidad de su contenido en agua, antes de ser sometida a altas temperaturas.

Impermeabilizado

El impermeabilizado requiere diversos pasos según el tipo de producto. El bruñido consiste en ejercer una presión sobre el objeto con un guijarro u otro instrumento de cierta dureza para quitarle su porosidad. Se favorece a veces extendiendo sobre él una ligera capa de arcilla fina.

Cochura

La cochura es una operación delicada que puede hacerse una sola vez o varias veces, en fuegos abiertos o en hornos cerrados. El resultado del producto depende en buena medida de la graduación de la temperatura y del comportamiento de los gases que se forman durante la combustión, es precisamente aquí donde comienza el diseño del horno, en obtener la temperatura adecuada, que sea homogénea y constante.

Este proceso de cochura se conoce también como bizcochado, el cual consiste en calentar primero la pieza a unos 200-300°C, La mayoría de los cimentadores orgánicos pueden extraerse de las piezas cerámicas por calentamiento a estas temperaturas, aunque algunos residuos hidrocarbonados pueden requerir un calentamiento a temperaturas mucho más elevadas. Este proceso tiene como finalidad extraer toda la humedad que puedan tener la pieza, aquí se corre el riesgo de que si la temperatura no es uniforme, las piezas pueden explotar, rajarse o sufrir otro tipo de defectos o daños.

Decoración

La decoración se vincula al recubrimiento impermeabilizante y al proceso de cocción. En la "impresa", las impresiones se obtienen sobre el barro blando con los dedos (digital); con conchas (cardial); con uñas (ungular), etc. El "puntillado" se consigue con un instrumento de punta más o menos aguda. El "estampillado" consiste en imprimir una matriz sobre el barro blando. El "acanalado" se produce con un punzón de punta roma. En la decoración se extrae parte de la superficie del barro cuando está blando y la "barbotina" consiste en abultamientos conseguidos con arcilla muy licuada. A veces, sólo la forma y el color del barro o del barniz son suficientes.

La decoración pintada varía especialmente según el punto de fusión de los óxidos metálicos que integran los colores. Los más frecuentes son los óxidos de cobalto (azul); de cobre (verde); de manganeso (violeta), etc. Estos pueden hacerse antes de introducir la pieza en el horno por primera vez "en crudo" o cuando ya ha ido una vez al horno "en bizcocho"; antes de recibir la capa de barniz, o también cuando ya está vidriada "pintura sobre cubierta". Este último sistema permite usar pigmentos que queman a baja temperatura. La pintura en crudo permite enriquecer la decoración empleando técnicas como el rayado, la incisión, etc.

Las primeras vasijas realizadas por el hombre estaban hechas a mano, en su mayoría con las técnicas del enrollado y se decoraban con pinturas e incisiones. Egipto y Mesopotamia conocieron ya el vidriado. En Egipto (alrededor de 2000 A.C.) se emplea un grueso barniz de intensa coloración azul-verde, en mosaicos, estatuillas y recipientes. En Asiria y Babilonia lograron más variedad en la coloración, con distintos tonos de azul y blanco amarillento. Coincidiendo con el desarrollo del torno, en Creta la cerámica alrededor de 1700 A.C. alcanza gran perfección (Camares y estilo de Palacio) usada en la vida doméstica y como objeto de comercio.

En Grecia, 1000 A.C. la cerámica se convierte en una de las más importantes manifestaciones artísticas. Los vasos de figuras negras y figuras rojas adoptan gran variedad de formas y diferente finalidad. Una vez terminada la decoración y cuando se habían secado se procedía a la cocción. Era una sola cocción pero tenía tres fases: primero una oxidación (dejando entrar aire en el horno), luego una reducción (introduciendo humo) y finalmente otra oxidación. En la primera fase tanto el cuerpo de la vasija como el barniz se volvían rojos, en la segunda ambos se volvían negros o grises y en la tercera la arcilla se volvía roja mientras el barniz más denso continuaba negro.

Vidriado

Este es un tratamiento muy importante y que se hace con mucha regularidad, como sabemos las pastas cerámicas están compuestas principalmente por arcilla y feldespato (ver tabla 5.6), el feldespato a estar en contacto con altas temperaturas (alrededor de 1100°C, ver Figura 5.3) sufre una transformación a fase cristalina, esta fase se licúa y rellena los poros del material. Esta fase cristalina líquida puede reaccionar también con alguno de los sólidos restantes del material refractario, cuando se va enfriando el horno, la fase líquida solidifica pasa a formar un recubrimiento vítreo que une las partículas que no han fundido.

Después de este tratamiento, se tiene la opción de incorporar algún tipo de calcomanía a las piezas, por ejemplo colocar un logo de alguna empresa en platos, tazas, vasos, esto se hace a una temperatura de unos 700-900°C, el cual es el necesario para transformar este recubrimiento vítreo en una pasta espesa y que absorba la calcomanía, pero también esta temperatura no es lo suficientemente alta para modificar las propiedades previamente obtenidas en el proceso de vidriado.

En la sección de anexos, se presenta un flujograma donde se presentan las diferentes etapas del proceso de elaboración de piezas cerámicas (Anexo 2)

5.6 Pastas Cerámicas

Los siguientes porcentajes se refieren a pastas lisas para trabajo manual o pastas de Gres, utilizadas para la elaboración de cerámicas decorativas. Estos porcentajes se refieren a una sola mezcla y no tienen alguna aplicación en particular, Se puede ocupar cualquier mezcla para la elaboración de cerámica decorativa.

Tabla 5.6: Porcentaje de pastas para trabajo a mano. (Chiti, 1983 p. 35)

Arcilla	70	65	70	70	62	70	60	70
Caolín	0	0	0	0	0	0	10	0
Cuarzo	8	17	0	0	0	0	10	0
Feldespato	10	6	30	10	6	0	10	0
Carbonato de Calcio	12	12	0	0	0	0	10	10
Talco	0	0	0	0	24	30	0	20
Dolomita	0	0	0	20	0	0	0	0

Tabla 5.7: Porcentaje de pastas de Gres. (Chiti, 1983 p. 35)

Arcilla	70	60	61	70	42
Caolín	0	10	9	5	16
Cuarzo	16	15	11	11	19
Feldespato	14	15	19	16	19
Bentonita	0	0	0	2	0
Polvo de Chamote	0	0	0	0	4

Es importante mencionar, que las pastas para trabajo a mano se ocupan para rangos de temperatura entre los 690-1100°C, con este tipo de pasta es que se fabrican la mayoría de adornos y piezas decorativas como tazas, vasos, platos, recuerdos.

Las pastas de Gres se trabajan en rangos entre los 1190-1230°C, debido a que se tratan de pastas compactas, que se deben de hornear en un horno especial capaz de lograr altas temperaturas. Las pastas de Gres son ideales para escultura, murales y piezas de arte.

El diseño del horno sólo contempla la utilización de pastas para trabajo a mano, debido a que las empresas en el país se dedican a este tipo de actividad de fabricación de adornos y piezas decorativas y no a la venta de esculturas, murales o piezas de arte.

6.0 HORNOS: Tipos, Accesorios y Materiales Refractarios

Este tema hace un estudio los distintos tipos de hornos que existen, conoceremos las características de cada uno de ellos, así como también sus ventajas y desventajas, esto nos da una ayuda para seleccionar el tipo de combustible que se utilizará. También abarca los accesorios básicos que llevará el diseño, en el desarrollo del mismo conoceremos las características y funcionamiento de estos. Al final del tema se toca la parte de materiales refractarios que son parte importante dentro del funcionamiento y diseño de un horno.

6.1 Características de un Horno para Tratamientos Térmicos

Básicamente se puede decir que un horno para tratamientos térmicos, es un aparato que tiene como finalidad mantener a una temperatura *elevada, constante y homogénea* durante cierta cantidad de tiempo, las piezas que están en el interior del mismo, logrando así, un cambio en las propiedades internas y externas de las piezas.

De este concepto se puede extraer las características que todo horno para Tratamientos Térmicos debe de tener:

- Deben de ser capaces de manejar altas temperaturas. En algunas ocasiones, dependiendo del uso necesitan temperaturas de 1500°C o más, como por ejemplo los hornos para la fundición del hierro y aceros.
- La distribución de la temperatura dentro del horno debe de ser lo más uniforme posible, para que todas las piezas posean las mismas características en todos sus puntos.
- Deben de ser capaces de mantener una temperatura constante durante cierta cantidad de tiempo, a fin de impedir cambios bruscos en el nivel de temperatura, que puede afectar a las piezas.

- Deben de tener un mecanismo que pueda controlar fácilmente el ascenso y descenso de la temperatura, así como también los gases y/o humo producido dentro del horno.

6.2 Clasificación de los Hornos

Existe una gran variedad de hornos, básicamente se pueden clasificar de acuerdo con los siguientes parámetros:

- Según Combustible Utilizado
- Según Material por Tratar
- Según Dimensiones
- Según el Tipo de Funcionamiento

Según el combustible utilizado los hornos pueden ser de gas, leña o eléctricos. Por el material a tratar pueden ser hornos para acero, cerámicos, cuero, según las dimensiones pueden ser desde hornos industriales con capacidades de toneladas, hasta hornos portátiles o de prueba (menores de $\frac{3}{4}$ m³) por el tipo de funcionamiento estos pueden ser para producción de arrabio, afinado de acero, tratamientos térmicos, etc.

Se puede hacer entonces una clasificación parcial del horno a diseñar, bajo estos parámetros:

- Según tipo de funcionamiento: Horno para Tratamientos Térmicos
- Según el material por tratar: Horno para Materiales Cerámicos

Con respecto a las dimensiones y el tipo de combustible utilizado, se necesita de un análisis más detallado para determinarlos.

6.3 Determinación del Tipo de Combustible a Utilizar

Los hornos según el tipo de combustible a utilizar se dividen en Leña, Eléctricos y a Gas². Los Hornos que trabajan con leña se utilizan en zonas alejadas, donde no existe energía eléctrica disponible, pero si se cuenta con zonas boscosas y una disponibilidad de recursos renovables para su utilización. Este tipo de hornos tiene una desventaja y es que necesita de una combustión completa de la leña y de la humedad que esta pueda tener para lograr una eficiencia alta (aproximadamente no mayor del 20%) además es importante mencionar el daño al medioambiente que causan, debido a que se necesitan talar árboles para que puedan funcionar y además del humo que se genera al momento de la combustión, lo cual ayuda a crear el llamado efecto invernadero, que corresponde al aumento de la temperatura en zonas determinadas, debido al humo y gases condensados en la atmósfera de la tierra. Un horno que utilice leña como combustible no es muy factible de utilizar aquí en nuestro país, por razones ambientales, debido a la contaminación y falta de recursos renovables, por lo que el diseño descarta utilizar leña como fuente de combustible.

Se tiene entonces dos opciones, un horno que sea alimentado por gas o alimentado por energía eléctrica. Haremos una comparación entre ambos tipos de hornos para elegir el que mejor nos parezca para utilizarlo en el diseño.

6.3.1 Comparación entre hornos eléctricos y de gas

Una vez descartada la utilización de leña como combustible la atención se centra en los hornos eléctricos y de gas, cada uno tiene sus ventajas y desventajas, que dependiendo del tipo y volumen de producción se prefiere la utilización de uno con respecto al otro. Para elegir el tipo de combustible a utilizar se hará una comparación bajo los siguientes parámetros:

² Estos pueden ser a su vez de gas envasado (Gas Propano), Kerosén o de Fuel-Oil

- Funcionamiento
- Impacto Ambiental
- Economía

Funcionamiento

En la actualidad, los hornos eléctricos se construyen en diferentes tamaños, su construcción varia de acuerdo al volumen y tipo de producción, aunque no se acostumbra construirse hornos más grandes de $\frac{3}{4}$ de m^3 , es preferible tener 2 hornos eléctricos de $\frac{3}{4}$ m^3 que uno de 1 m^3 o de mayor volumen, debido a que resulta muy costoso. Con respecto a los niveles de temperatura que manejan, podemos decir que un horno de un tamaño de $\frac{3}{4}$ m^3 , puede alcanzar una temperatura de unos 1040 °C en una 5 o 6 horas, aunque también pueden alcanzar temperaturas entre los 1230 °C y 1250 °C, pero se necesita de mayor tiempo de para alcanzarlas. Los hornos eléctricos son ideales para la cocción de esmaltes, decoración sobre cubiertas y oro, debido a que su atmósfera no contiene humo o gases, y además es oxidante. La distribución de la temperatura en su interior es muy uniforme. Estos hornos se construyen con paredes aislantes gruesas, para bajas temperaturas (1040 °C), el grosor de la pared no debe ser menor de 17 cm y para altas temperaturas (1230 °C hasta 1250 °C) no menor de 23 cm.

Los hornos a gas por lo general se construyen en tamaños de 1 m^3 o mayores, debido a que la distribución de temperatura se ve mejorada, incluso mejor que la de los hornos eléctricos, esto se debe a que un aumento en el área de transferencia de calor aumenta el calor transferido de las paredes hacia las piezas.

Estos hornos pueden ser alimentados con gas natural, gas envasado, kerosén, fuel-oil. Se prefiere utilizar el gas envasado o natural, debido a que estos no contienen impurezas perjudiciales a los esmaltes, los hornos alimentados con kerosén y otros derivados suelen producir una atmósfera sucia, con elevados porcentajes de azufre, el que perjudica seriamente a algunos esmaltes. Se necesita

de un horno bien construido, quemadores bien regulados y la circulación de aire caliente bien calibrada, para evitar daños a los esmaltes.

Los hornos a gas reciben el calor a través de los quemadores, estos deben ser cuidadosamente seleccionados. Una gran ventaja que posee este tipo de hornos sobre los hornos eléctricos es que los hornos a gas permiten regular la atmósfera de cocción dentro del horno, pudiendo obtener atmósferas de tipo:

- Oxidantes (Con exceso de oxígeno)
- Neutra (Con cantidad justa de oxígeno)
- Levemente Reductora (para esmaltes especiales)
- Muy Reductora (Para ciertos períodos de cocción de esmaltes de porcelana y otros)
- Humeante o Carbonosa (Para lustres árabes, rojos reductivos)

Además los hornos eléctricos tienen el inconveniente que si hay un corte en la energía eléctrica se detienen lo que implica un paro en el proceso del tratamiento térmico y están sujetos a cambios en el nivel del voltaje de la red de alimentación.

En conclusión se puede decir que respecto al funcionamiento, los hornos a gas se utilizan en lugar de los hornos eléctricos cuando:

- El tamaño del horno es mayor de $\frac{3}{4}$ m³, aunque hay de menor tamaño, pero no es recomendable.
- Se necesita una atmósfera regulable durante el proceso del tratamiento térmico de las piezas.

Impacto Ambiental

Los hornos eléctricos no causan ningún daño al medio ambiente, debido a que dentro del horno no se produce humo, ya que no hay combustión de ningún agente, el calor generado dentro del horno básicamente es causado por el paso de la corriente sobre una resistencia eléctrica. Los hornos a gas, especialmente los que utilizan kerosén o fuel-oil, si tienen un gran impacto, estos producen una gran cantidad de humo, que es liberado al ambiente, el uso de estos tipos de combustibles está descartado para nuestro diseño.

Los hornos que utilizan como combustible gas natural o envasado, como por ejemplo gas propano, son más aceptados, el daño que causan al ambiente es mínimo, debido a que un porcentaje de los gases y humos producidos dentro del horno, por lo general se mantienen circulando dentro del horno.

Los hornos a gas deben de estar ubicados en lugares donde se pueda instalar una chimenea, por donde se liberarán los gases y humos, estos tienen la ventaja que la chimenea puede ser de flujo ascendente o de flujo descendente (tiro invertido), para los hornos a gas envasado se acostumbra utilizar chimeneas de flujo invertido, debido a que la recirculación de los gases aumenta la eficiencia y hace una distribución más uniforme de la temperatura dentro del horno.

Economía

Este es uno de los factores más importantes dentro del diseño, podemos decir que los hornos eléctricos resultan en un costo más elevado debido a que:

- Necesitan un mantenimiento más recurrente, las resistencias eléctricas se dañan más rápidamente. Una resistencia eléctrica promedio dura alrededor de 4 a 6 semanas, debido a las altas temperaturas que se producen, afectando directamente la vida útil del material de la resistencia.
- El gasto de energía eléctrica consumida (KW/H) es grande, debido a que electricidad suele ser más cara que el gas propano envasado.
- Se necesita más material aislante para su construcción y más controladores para su funcionamiento.

A continuación se presenta una tabla resumiendo las características de los hornos a gas y hornos eléctricos.

TABLA 6.1: Comparación entre hornos alimentados con gas propano y hornos eléctricos

HORNO A GAS	HORNO ELECTRICO
F U N C I O N A M I E N T O	
<ul style="list-style-type: none"> • Utilizado para tamaños mayores de $\frac{3}{4}$ m³. • Se puede controlar la atmósfera de cocción dentro del horno. • Excelente distribución de temperatura para tamaños grandes y medianos. • No necesitan de un mantenimiento tan frecuente. 	<ul style="list-style-type: none"> • Utilizado para tamaños menores de $\frac{3}{4}$ m³. • No se puede controlar la atmósfera de cocción dentro del horno. • Buena distribución de temperatura para tamaños grandes y medianos. • Necesitan de un mantenimiento más frecuente.
I M P A C T O A M B I E N T A L	
<ul style="list-style-type: none"> • Poca contaminación ambiental • Hace ruido al operar 	<ul style="list-style-type: none"> • No contamina el medio ambiente. • No hace ruido al operar.
E C O N O M I A	
<ul style="list-style-type: none"> • Construcción del Horno más económica. • Costo de operación bajo, por ocupar gas propano. 	<ul style="list-style-type: none"> • Construcción del Horno más cara. • Costo de operación alto, por ocupar energía eléctrica.

Fuente: Análisis entre Ventajas y Desventajas de los Hornos Eléctricos y de Gas

Al analizar la tabla anterior, se elige utilizar un horno alimentado con gas propano, debido a que:

- Se tiene una mejor distribución de la temperatura, para tamaños grandes y medianos (mayores de $\frac{3}{4}$ m³).
- Se tiene un control sobre el tipo de atmósfera de cocción dentro del horno.

- El impacto ambiental es mínimo, comparado con combustibles como el kerosén y el fuel-oil.
- Resulta mucho más económico, tanto en su operación, instalación y mantenimiento.

6.4 Determinación de la Capacidad del Horno

La determinación de este parámetro es muy importante debido a que afecta directamente a otros factores, tales como: la cantidad de materiales a utilizar, cantidad de combustible, cantidad de accesorios y por consiguiente también se ve afectado el costo total del horno.

En el software de simulación del horno, este factor será una variable, la que podremos modificar dependiendo del volumen de producción que se desee. Es muy importante mencionar que la capacidad mínima que podremos tener es de $\frac{3}{4} \text{ m}^3$, porque para capacidades menores, un horno eléctrico resulta más adecuado por la uniformidad de la temperatura dentro del horno, aunque esto no quiere decir que no aplique el diseño, quedará a criterio del dueño del horno la utilización de un horno a gas con las limitaciones anteriormente mencionadas.

Se elige un horno con capacidad de 1 m^3 , debido a que se considera que con este valor se asegura que la distribución de la temperatura dentro del horno será uniforme³, y además es lo suficientemente grande, como para abarcar una buena variedad de piezas. En dado caso que se necesite otro valor como un requerimiento especial de una empresa, se cuenta con el software de simulación, para adaptar el diseño a los nuevos parámetros.

³ La uniformidad de la temperatura dentro del horno depende otros factores que más adelante trataremos

6.5 Accesorios

Una vez seleccionado el tipo de horno sobre el cual se trabaja, otro paso importante es definir los diferentes accesorios que llevará dicho horno. Los accesorios básicos que tendrá son:

- Chimenea
- Quemadores atmosféricos
- Controladores de temperatura
- Regulador de presión
- Programador (protector)
- Foto celda detectora de flama
- Actuador

6.5.1 Chimenea

Las chimeneas se ocupan para evacuar los gases producidos durante el proceso de combustión, dichos gases son expulsados al ambiente. La forma en que se produce este fenómeno se denomina "Efecto Chimenea", que prácticamente es producido por las diferentes densidades de los gases que resultan de las diferencias de temperatura (recordemos que un gas a distintas temperaturas tendrá distintas densidades), en una chimenea esto se puede ver en la diferencia entre los gases calientes de combustión y el aire frío que lo rodea, donde en la parte superior (boquilla de salida) se produce una presión estática equivalente.

En la actualidad se cuentan con hornos que tienen chimeneas con tiro invertido o tiro ascendente, el tiro se refiere a la diferencia entre la presión atmosférica y cierta presión que existe dentro del horno.

Las chimeneas con tiro ascendente son aquellas que tienen la salida de gases en la parte superior y las de tiro invertido tienen la salida de gas en la parte inferior del horno.

A continuación se presenta una tabla con las dimensiones críticas para hornos de gas con tiro invertido:

TABLA 6.2: Dimensiones críticas para hornos de gas de tiro invertido (Leach, 1948: p. 191)

TAMAÑO DEL HORNO m ³ (ft ³)	Nº DE QUEMADORES	AREA ABIERTA DE FLUJO m ² (in ²)	SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA CHIMENEA (in)	ALTURA DE LA CHIMENEA m (ft)
0.28 (10)	4	0.029 (45)	9 x 9	3.66 (12)
0.57 (20)	6	0.042 (65)	9 x 9	4.88 (16)
0.85 (30)	6	0.052 (81)	9 x 9	6.09 (20)
1.42 (50)	8	0.077 (120)	13 ½ x 13	6.09 (20)

6.5.2 Quemadores Atmosféricos

La utilización de este tipo de quemadores, elimina la necesidad de utilizar un ventilador industrial para impulsar el aire a la mezcla, debido a que trabajan sin aire a presión, con esto aumentamos una ventaja a nuestro horno y es que el funcionamiento será mucho más silencioso ya que no vamos a utilizar un ventilador. Para que este tipo de quemadores trabaje adecuadamente deben de ser de alta presión (más de 0.5 psig)⁴ y deben de tener una entrada de aire secundario⁵

Este tipo de quemadores se rige bajo el principio de Venturi para su funcionamiento. Un 80% de aire secundario y un 20% de aire primario (Aire primario es el que absorbe el mismo quemador por el sistema Venturi), es una correcta regulación que permite eliminar el ventilador y la chimenea de los hornos de tiro ascendente, no así en los hornos de tiro invertido.

⁴ Nos referimos a la presión del gas que estará fluyendo dentro del horno

⁵ Entendiéndose como aire secundario, el aire que entra al horno por el agujero de entrada del quemador.

La boca del quemador se coloca siempre a unos 2 o 3 cm por fuera del agujero de entrada del quemador del horno. Estos quemadores están diseñados para trabajar a alta presión de gas y no para baja presión de gas. En estos quemadores atmosféricos, el aire necesario para la correcta combustión se arrastra, mientras que en los quemadores comunes, el aire a presión proviene del ventilador que arrastra el gas hacia el venturi. En la siguiente figura se muestra un quemador con sus partes

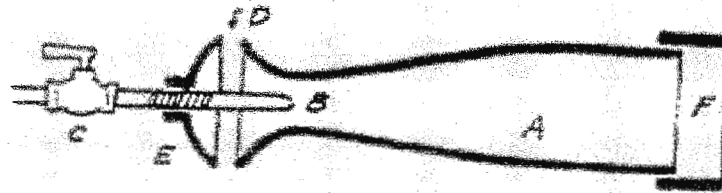


FIGURA 6.1: Quemador atmosférico de alta presión

- A : Venturi
- B : Inyector de gas
- C : Válvula reguladora de flujo
- D: Entrada de aire primario
- E : Regulador de la entrada de aire primario
- F : Salida de la llama

Para poder controlar las diferentes atmósferas: Oxidante (llama azul), Neutra (llama verdosa) y Reductora (llama amarilla), se instalará una válvula de bola que regulará la entrada del gas y una rosca que permitirá aumentar o disminuir el acceso de aire primario al venturi. Por otra parte todo buen quemador para uso cerámico (sobre todo artístico o artesanal), debe tener un tubo para la inyección de gas directamente a la boquilla del quemador, con su propia válvula de bola ya considerada, esto es necesario para ciertos esmaltes o lustres árabes.

6.5.3 Controladores de Temperatura

Estos tipos de dispositivos son muy importantes dentro del funcionamiento de un horno para tratamientos térmicos, especialmente para productos cerámicos, debido a que los cambios bruscos o diferencias altas de temperaturas afecta directamente las características de las piezas, hay esmaltes que son sensibles a pequeñas diferencias de temperaturas de cocción, sobre todo cuando se trabajan a temperaturas inferiores a los 1100°C, y más aún si se hornean a solamente 960°C. Debido a esto es preciso contar con adecuados métodos para vigilar que la temperatura dentro del horno sea la apropiada.

En el diseño del horno se ha elegido utilizar Conos Orton y Conos Seger, y un controlador digital que nos proporcionará en una pantalla la lectura a la cual se encontrará la temperatura dentro del horno.

Los Conos Orton y Seger es un método que consiste en colocar dentro del horno, conos hechos con distintas composiciones de mezclas, que dependiendo de la temperatura estos se funden y doblan. Es muy importante mencionar que estos conos deben de ser colocados frente a un visor para estar atentos en que momento se empiezan a doblar y así saber a que temperatura se encuentran las piezas dentro del horno.

A continuación se presentan unas tablas donde se detallan las temperaturas y el tipo de cono que se utiliza:

TABLA 6.3: Temperatura de los Conos Seger para un ritmo de calentamiento de 150°C por hora
(Chiti, 1983: p 153)

Cono N°	Temp (°C)	Cono N°	Temp (°C)	Cono N°	Temp (°C)
022	605	011	895	2	1165
021	615	010	905	3	1170
020	650	09	930	4	1190
019	660	08	950	5	1205
019/1	680	07	990	6	1230
019/2	700	06	1015	7	1250
018	720	05	1040	8	1260
018/1	750	04	1060	9	1285
017	770	04/1	1080	10	1305
016	795	04/2	1100	11	1325
015	805	03	1115	12	1335
014	830	02	1125	13	1350
013	860	01	1145	14	1400
012	875	1	1160	15	1435

TABLA 6.4: Equivalencias entre las temperaturas de fusión de los conos Orton y los grados °C

(Chiti, 1983: p 153)

CONOS ORTON	Temp (°C)	CONOS ORTON	Temp (°C)
022	585	1	1125
021	595	2	1135
020	625	3	1145
019	630	4	1165
018	670	5	1180
017	720	6	1190
016	735	7	1210
015	770	8	1225
014	795	9	1250
013	825	10	1260
012	840	11	1285
011	875	12	1310
010	890	13	1350
09	930	14	1390
08	945	15	1410
07	975	16	1450
06	1005	17	1465
05	1030	18	1485
04	1050	19	1515
03	1080	20	1520
02	1095	23	1580
01	1110	26	1595

Estos conos están diseñados en la medida que cuando aumenta la temperatura, se inclinan un poco, se van doblando gradualmente hasta que la punta toca la base cuando se ha alcanzado la temperatura de fusión, de acuerdo al tipo del cono (ver tablas anteriores). Estos conos se colocan sobre una base de ladrillo refractario poroso, inclinados unos 8° sobre la vertical, para que caigan precisamente sobre el grado de inclinación. En la siguiente gráfica se muestra la forma en que se colocan y como se doblan.

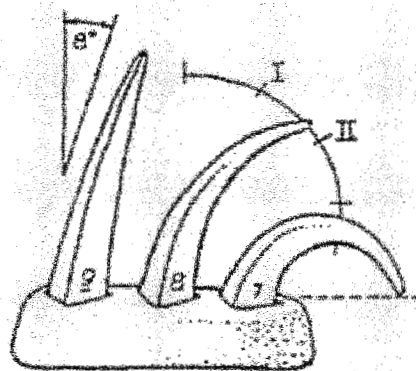


FIGURA 6.2: Conos Pirométricos

Es importante también mencionar que estos conos (Seeger y Orton) están diseñados para un ritmo de elevación de unos 150°C por hora, cualquier alteración del ritmo de calentamiento del horno afecta de manera directa los resultados, tanto los conos como los esmaltes son cuerpos vítreos, es decir funden después de su temperatura de madurez si la temperatura asciende demasiado rápido, o por el contrario funden antes de ella si la temperatura asciende demasiado lento. Para evitar estos inconvenientes existen conos diseñados para ritmo de ascenso de temperatura de unos 20°C por hora, el uso de este tipo de conos solamente aplica para hornos muy grandes y lentos, para hornos comunes no se deben de utilizar debido a que la medición variará grandemente.

Otro cuidado que debe de tenerse es que estos conos no deben de colocarse en lugares donde la llama directa los toque. También el exceso de humedad dentro del horno afecta la correcta medición de ellos, así como también el humo y la atmósfera reductora.

El otro tipo de controlador que se utilizará es un controlador digital, el cual es el encargado de la regulación de la temperatura, esto lo hace al recibir una señal de un sensor de temperatura llamado termocupla, que dependiendo de la temperatura ajustada este controla una válvula que regula el flujo de gas. Como vemos este tipo de controlador es muy moderno y también se obtienen resultados muy precisos con respecto a la temperatura.

6.5.4 Reguladores de Presión

Los reguladores de presión cumplen un papel muy importante dentro del funcionamiento del horno, estos son los encargados de mantener a una presión determinada del flujo de gas para poder suministrarla a los diferentes accesorios que lo requieran, así como también de mantener una presión adecuada dentro del tanque de gas. Estos reguladores deben ser capaces de manejar variación de presiones entre 10 psig hasta 200 psig, para el tanque y una presión aproximada de 10in de columna de agua para los diferentes accesorios.

Los reguladores de presión son aparatos de control de flujo diseñados para mantener una presión constante del gas. Estos deben de ser capaces de mantener la presión, sin afectarse por cambios en las condiciones operativas del proceso para el cual trabaja. La selección, operación y mantenimiento correcto de los reguladores garantiza el buen desempeño operativo del equipo al cual provee el gas.

La selección de un regulador, como en la mayoría de los equipos, esta ligado a consideraciones económicas, de operación y mantenimiento. El énfasis que se haga para definir con exactitud el requerimiento de presión y flujo del proceso, así como los márgenes de variación posibles y su impacto en la producción, es el primer paso para garantizar una buena elección.

En la siguiente tabla se muestra la selección apropiada para reguladores de presión de GLP:

TABLA 6.5: Selección de Reguladores de Presión. (RIEGO PRODUCTS, 1990: p 19)

Clase de sistema	Carga Total Conectada		Tipo de Regulador REGO
	(Btu/h)	(Pie ³ /h)	
Cilindro ICC, Regulación de Etapa Sencilla	150,000	60	2302A2
	575,000	230	2403C9
Cilindro ICC, Regulación de dos Etapas (Cambio Automático)	568,000	227	7519DB 7519MB Certi-Matic
Tanque ASME Almacenamiento Regulación de Etapa Sencilla	575,000	230	2403C9
	900,000	360	2503C9
Tanque ASME Almacenamiento Regulación de una Etapa (Alta Presión)	1,400,000	560	401AP
	2,500,000	1,000	2403S9 ó TR9
Tanque ASME Almacenamiento Regulación de dos Etapas (Baja Presión)	935,000	374	2403B46R ó B46
	1,400,000	560	2503B4

6.5.5 Programador (Protector)

Este tipo de accesorio funciona como detector de flama, recibe la señal por medio de un amplificador de estado sólido el cual está conectado a una foto celda. Este dispositivo esta registrando cada momento la presencia de flama, al no detectarla este puede hacer lo siguiente:

- Desenergizar las válvulas de gas.
- Accionar una alarma.
- Ambas.

6.5.6 Foto Celda Detectora de Flama

Este dispositivo está conectado al programador, se puede emplear también un sensor ultravioleta ajustable, pero este tiene un alto costo y en el proceso solo se necesita detectar si existe o no la flama.

6.5.7 Actuador

Este va acoplado directamente a las válvulas que están montadas en la tubería de gas.

A continuación se presenta un listado de normas internacionales, que rigen esta parte de accesorios, que pueden servir como consulta:

- Código: **UNE 60740-1:1985**
Título: Quemadores a Gas. Parte I: Quemadores Atmosféricos
- Código: **UNE-EN 298:1994**
Título: Sistema de Control y de Seguridad para quemadores y aparatos con O sin ventilador que utilizan combustibles gaseosos.
- Código: **UNE-EN 497:1998**
Título: Especificaciones para los aparatos que utilizan exclusivamente gases Licuados del petróleo. Quemadores de usos múltiples con soporte Integrado para uso al aire libre.
- Código: **UNE-EN 1457:1999**
Título: Chimeneas: Conductos de humos de arcilla o cerámicos
Definiciones y especificaciones de producto.
- Código: **UNE-EN 746-1:1997**
Título: Equipos de tratamiento térmico industrial. Parte I: Requisitos Comunes de seguridad para equipos de tratamientos térmico Industrial.

Estas normas son hechas por AENOR, y están disponibles en la página web de la empresa: <http://www.aenor.es>

6.6 Materiales Refractarios

En la actualidad para hornos cerámicos y otros se está ocupando cada vez más las fibras cerámicas como revestimiento refractario interior. Estas fibras sustituyen al tradicional ladrillo refractario. Estas pueden trabajar entre rangos de temperaturas de 930°C, 1260°C, 1426°C, dependiendo del tipo de fibra que se ocupe. Se encuentran disponibles en el mercado en forma de copos, manta, tela, paneles, placas, módulos, cemento, cordón.

6.6.1 Fibras Producidas por CVD

En los años 60 se produjeron las primeras fibras de Boro y Carburo de Silicio, mediante la deposición de una capa de estos sobre un fino filamento de Carbono o Wolframio. Las fibras producidas por este método presentan un diámetro del orden de 140 μm . Las fibras de Boro se suelen recubrir de una capa de B_4C y SiC para evitar su degradación al procesarlas con el metal.

En la siguiente figura se puede ver la sección transversal de una fibra donde se aprecia el núcleo de wolframio y el recubrimiento exterior.

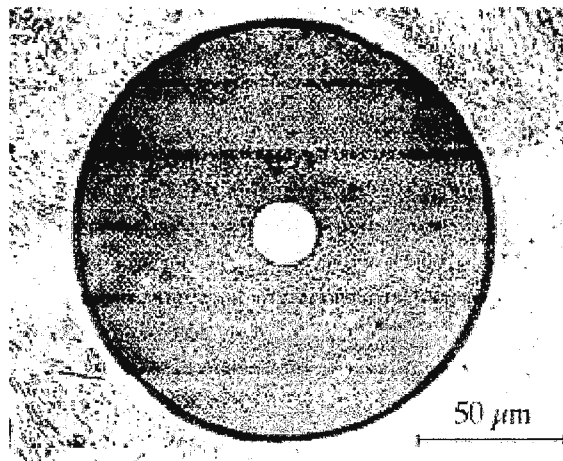
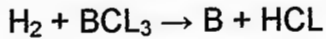
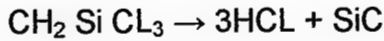


FIGURA 6.3: Fibra de Boro con Núcleo de Wolframio

Las fibras de Boro se obtienen según la siguiente ecuación:



y las de carburo de silicio por la descomposición de clorosilatos según:



Las fibras de SiC con núcleo de carbono, presentan complicaciones por la existencia de gradientes de concentración de carbono entre el núcleo y el recubrimiento. Las fibras de SiC parecen ser especialmente adecuadas para compuestos de matriz de titanio.

6.6.2 Fibras de Alúmina y Mullita

La primera fibra cerámica continua de pequeño diámetro surgió en 1979 de la mano de DuPont. Dicha fibra, denominada FP, estaba compuesta por alúmina- α . Esta fibra se produce mediante una mezcla de polvo de alúmina con un precursor orgánico soluble en aluminio. La mezcla se extruye y se somete a un calentamiento en aire a 1300°C, y otro mediante una llama de propano. Este último produce una fina capa de silicio que protege la fibra y aumenta su mojabilidad en aleaciones ligeras. El tamaño de los granos de alúmina de las fibras FP es del orden de 0.5 μm , y el diámetro de las fibras de 20 μm . En la figura se ve el aspecto de la fractura intergranular de una fibra FP.

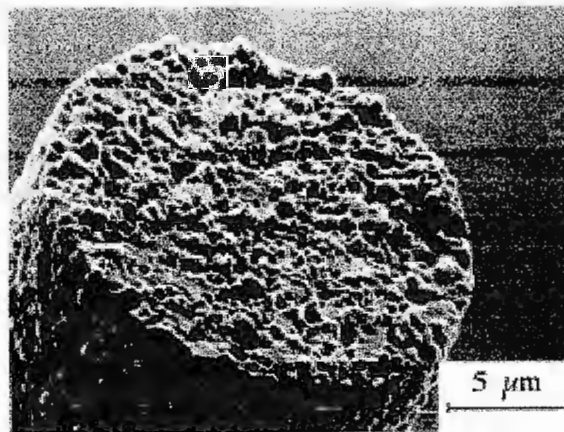


FIGURA 6.4: Fibra de alúmina FP

Las fibras FP mantienen sus propiedades mecánicas hasta los 1000°C. A partir de esta temperatura aparecen fenómenos de creep, y crecimiento de grano. Otra fibra creada por DuPont para el refuerzo de aleaciones ligeras fue la PRD 166. El principal componente de esta fibra es alúmina- α , pero también contiene un 20% en peso de circonia. El tamaño de grano de la alúmina ronda los 0.3 μm , y la circonia presenta un tamaño de grano de 0.1 μm . Esta fibra tiene una tensión de rotura mayor que la FP, y el creep aparece a temperaturas superiores a los 1100°C. Mitsui Mining fabrica una fibra denominada Almax, de alúmina- α , cuyo diámetro es de 10 μm . Esta fibra presenta unas propiedades peores que las de la fibra FP, debido principalmente a su gran porosidad. A temperaturas elevadas se produce deslizamiento entre granos y crecimiento de los mismos. 3M por su parte desarrolla la Nextel 610. A diferencia con la Almax esta fibra posee gran cantidad de impurezas (1.15%). Entre estas impurezas se encuentra un 0.35% de SiO_2 que actúa como anclaje para evitar el crecimiento de grano. El tamaño de grano de la alúmina es de 0.1 μm . La tensión de rotura es superior a la de las fibras PRD 166.

La empresa Sumitomo Chemicals fabrica una fibra denominada Altex cuya composición es 85% en peso de alúmina- α y 15% de sílice. La manejabilidad de estas fibras es buena, ya que presentan un módulo de Young menor que las basadas en alúmina- α , y la deformación a fractura es mayor. La misión del SiO_2 es estabilizar la fase γ . Estas fibras mantienen sus propiedades mecánicas hasta 800°C, y a partir de 1000°C se observa un proceso de creep acelerado por el ablandamiento de la sílice. A partir de los 1127°C se produce la aparición de mullita, convirtiéndose en una mezcla de esta y alúmina.

6.6.3 Fibras Nicalon y Tyranno

La empresa Nipon Carbon Produce unas fibras de SiC, a partir de una cadena polimérica en la que se eliminan ciertos átomos de oxígeno y se introducen en su lugar silicio, obteniéndose una estructura de SiC- β similar a la del diamante. La fibra con más aplicaciones es la Nicalon NLM-202. La fibra precursora se calienta a 300°C para que se produzca la transformación. La fibra cerámica se obtiene por un calentamiento progresivo en atmósfera inerte hasta 1300°C. Las propiedades mecánicas de estas fibras en atmósfera inerte apenas varían hasta los 1000°C. A partir de dicha temperatura aparecen problemas de creep. A la hora de estudiar la degradación del Nicalon es determinante la cantidad de oxígeno y carbono libre presentes en la fibra.

Ube Industries produce la fibra Tyranno LOX-M, de forma similar a la Nicalon, pero añadiendo una cantidad de titanio del 2% en peso. El diámetro de esta fibra es de 8.5 μm , y su aspecto se muestra en la figura. Actualmente se ha eliminado la adición de oxígeno en la primera etapa de producción, y así han surgido fibras como la Hi-Nicalon y la Tyranno LOX-E. Debido a la eliminación casi completa del oxígeno en la primera ha logrado aumentar la resistencia al creep.



FIGURA 6.5 : Fibra Tyranno LOX-M

6.6.4 Fibras de Si-C-N-O

Actualmente se está estudiando la fabricación de una fibra formada por carburo-nitruro de silicio. Estas fibras presentan unas propiedades dieléctricas interesantes, y poseen una tensión de rotura de 1 Gpa. La producción de estas fibras parte de un proceso similar al utilizado para la fabricación del Nicalon.

6.6.5 Fibras de Si₃N₄

Recientemente ha sido desarrollada por Tonen una fibra de nitruro de silicio, de 10 μm de diámetro. Su estructura es amorfa, y mantiene un 65% de sus propiedades mecánicas tras ser sometido a 1300°C durante 12 horas, en una atmósfera de oxígeno. A temperatura ambiente la tensión de rotura es de 2.5 GPa.

6.6.6 Fibras de Si-B-(N,C)

Bayer a anunciado el desarrollo de una nueva fibra monofásica. La fibra esta formada por una fase amorfa de carbo-nitrilo. Afirman que puede soportar 1600°C sin deteriorarse, ya que se recubre de una capa de óxido estable. El fabricante muestra unos datos que las hacen prometedoras a altas temperaturas. Por el momento, el proceso de fabricación se está optimizando.

6.6.7 Fibras Monocristalinas

Los filamentos monocristalinos continuos han sido desarrollados por Saphikon. Debido a que el filamento se produce por crecimiento de un monocristal de alúmina, la productividad es baja, y por lo tanto el precio es muy elevado. Cuidando la orientación cristalográfica, se puede obtener una fibra con una resistencia al creep muy elevada. Esta fibra se ha producido con una composición eutéctica de alúmina-α. Las propiedades mecánicas de estas fibras no se ven tan fuertemente influenciadas por la temperatura como en las fibras policristalinas.

Las fibras cerámicas orientadas a aplicaciones a alta temperatura aún no han sido totalmente optimizadas. Mediante la técnica del CVD se pueden obtener fibras con recubrimientos que eviten la interacción fibra-matriz durante el procesamiento de ésta. Las fibras obtenidas a partir de una cadena polimérica presentan problemas de oxidación a elevadas temperaturas. La aparición de fenómenos de creep está relacionada con la existencia de juntas de grano, y por ello se están desarrollando fibras monocristalinas. Estas presentan unas propiedades bastante prometedoras a alta temperatura.

En la sección de anexos se presenta una tabla con un resumen de las características de las fibras cerámicas más utilizadas en el mercado. (Anexo 3)

Con respecto al uso en los hornos, se prefiere la utilización de estas fibras debido a que son sumamente livianas, fácil de trabajar y reponer. Otra gran ventaja que posee y es por lo que se les prefiere en lugar de los ladrillos refractarios, es que almacenan mucho menos calor, lo cual permite un ahorro de combustible en cada cocción (de casi un 35% o más), también son buenos aislantes térmicos y presentan resistencia al choque térmico. Adicionalmente poseen buena estabilidad química, por lo que no se ven afectadas por las atmósferas oxidantes y reductoras.

Al no almacenar la fibra mucho calor, las piezas son las que absorben la mayor cantidad, por lo que el horno aumenta su temperatura más rápidamente si en lugar de fibras cerámicas se estuvieran ocupando ladrillos refractarios. Así mismo, al absorber la fibra poco calor el horno se enfriará con mayor rapidez. Esto puede ser una ventaja o desventaja dependiendo del tipo de mezcla que se vaya a utilizar, por ejemplo si una determinada pasta que tenga alto contenido de cuarzo requiere de un enfriamiento lento, para que no se raje la pieza, la utilización de fibra cerámica puede ser peligrosa, para evitar este inconveniente lo que se puede hacer es regular muy bien el ciclo de calentamiento y de enfriamiento, es decir, reencendiendo el horno a lapsos a fin de lograr un enfriamiento lento.

A pesar de las grandes ventajas que tienen las fibras cerámicas con respecto a los ladrillos refractarios, también poseen una característica en particular que puede afectar grandemente a los usuarios de los hornos, y es que como se trabaja con aire caliente en circulación, partículas sumamente pequeñas, invisibles, podrían pasar al exterior del horno y ser inhaladas por el operario o personas que se encuentren cerca del horno en funcionamiento, afortunadamente existen hoy en día selladores que se aplican sobre la fibra y regulando el tiro y caudal de aire que ingresa al horno harán posible reducir al mínimo este peligro.

7.0 TRANSFERENCIA DE CALOR Y ANALISIS DE COMBUSTION.

7.1 Transferencia y Retención del Calor

En termodinámica el calor se define como la energía que se transfiere debido a gradientes o diferencias de temperatura.

El calor es transferido por tres mecanismos: conducción, convección y radiación. La conducción de calor a través de un cuerpo se realiza por medio de una actividad molecular incrementada causada por la elevación de temperatura, es transferida de una molécula a otra que se desplazan distancias muy cortas (aproximadamente $0.65\mu\text{m}$) antes de chocar e intercambiar energía con otra molécula, generándose esta actividad a través del cuerpo que esta siendo calentado. En un cuerpo el calor viaja o se transfiere de regiones de alta temperatura a regiones de bajas temperaturas. La cantidad de calor que pasa por conducción a través de una barrera depende de ciertas variables:

1. El área de la superficie de conducción. Entre mayor sea el área mayor será la cantidad de calor transferido.
2. El espesor del material de conducción.
3. La diferencia de temperatura entre los dos lados del material conductor.
4. El tiempo permitido para la transferencia.
5. La naturaleza del material.

El factor de conductividad térmica es expresado por una constante de proporcionalidad k , este valor representa los Btu transmitidos por hora a través de un espesor de una pulgada y un área de un pie cuadrado por una diferencia de temperatura de un grado Fahrenheit, es preciso mencionar que la conductividad térmica se define en el Sistema Ingles (USCS), pero además se puede utilizar en el Sistema Internacional (SI), que presenta las siguiente unidad dimensional W/m.K . la magnitud de la conductividad térmica k de una sustancia dada depende de manera

crucial de su estructura microscópica, y también tiende a variar ligeramente con la temperatura (tabla 7.1)

TABLA 7.1: Valores seleccionados de la conductividad térmica a 300 K (~25°C) (A.F. Mills, p 11)

Material	K [W/m.K]
Cobre	386.000
Aluminio	204.000
Bronce (70% Cu, 30% Zn)	111.000
Acero dulce	64.000
Acero inoxidable, 18-8	15.000
Mercurio	8.400
Concreto	1.400
Vidrio pyrex	1.090
Agua	0.611
Neopreno	0.190
Aceite para motores, SAE 50	0.145
Pino blanco, en dirección perpendicular a la veta	0.100
Cloruro de polivinilo (PVC)	0.092
Freon 12	0.071
Corcho	0.043
Fibra de vidrio (densidad media)	0.038
Poliestireno	0.028
Aire	0.027

La otra forma en la cual el calor puede ser transmitido es por Convección o transferencia de calor Convectiva, es el término que se usa para describir la transferencia de calor de una superficie a un fluido o un gas o líquido que se mueve por que ha sido calentado, y transfiere el calor a otros cuerpos.

El flujo puede ser forzado como en el caso de un líquido que se bombea a través de una tubería o del aire sobre un avión que surca la atmósfera. Por otro lado, el flujo podría ser natural, causado por fuerzas de empuje debidas a una diferencia de densidad, como es el caso de una torre de enfriamiento natural. Estos dos tipos pueden ser internos, como el caso de la tubería, o externo, como el flujo sobre el avión. En el caso de los hornos, la convección ocurre cuando los gases calientes viajan a través del horno, transfiriendo parte de su calor a las superficies en contacto.

La tercera forma en la cual el calor es transferido de un cuerpo a otro es por radiación. Es de importancia mencionar que toda la materia y todo el espacio contienen radiación electromagnética. La partícula, o cuanto de energía electromagnética es el fotón, y la transferencia de calor por radiación puede considerarse tanto en función de ondas electromagnéticas como en función de fotones. El flujo de energía que incide sobre una superficie se conoce como su irradiación, G [W/m^2]; el flujo de energía que abandona una superficie por emisión y reflexión de radiación electromagnética se llama radiosidad, J [W/m^2].

Estas tres formas de transferencia del calor de una sustancia a otra o de un cuerpo a otro cuerpo, poseen una importante aplicación en el diseño de hornos. Se mencionan algunas aplicaciones en las cuales estarán presentes estos mecanismos de transferencia de calor. La pérdida de calor a través de las paredes de un horno depende en gran parte de la transferencia de calor que surge por conducción, es por esta razón es que un horno trabaja como un reservorio o contenedor de calor. Aun, si el metal fuese suficientemente refractario para soportar altas temperaturas, será sencillamente inusual para las paredes de los hornos, debido a que el calor se transferirá muy rápidamente hacia el exterior. Por otro lado la fibra aislante es sumamente eficiente y retiene el calor, por esa razón específica es que en los hornos se utiliza la fibra aislante y no un material metálico.

Otra aplicación que surge en los hornos es cuando el calor se propaga a través del interior del horno; principalmente los mecanismos son la convección y la radiación. Estos dos mecanismos de transferencia de calor se presentan cuando el combustible es quemado dentro del horno, un flujo de gases calientes es inducido a través del horno y finalmente trata de salir de este. Estos gases calientes son principalmente oxígeno (O_2), dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO) y nitrógeno (N_2). Todos estos gases pierden una cierta cantidad de calor por el contacto directo con superficies frías en el horno. Entre más rápido viajen los gases sobre las superficies frías, será mayor la cantidad de calor transferirse por los gases mencionados.

Mientras que la convección es el mecanismo más importante de transferencia de calor en el horno durante cierto período (hasta 500°C), pero también el calor es transmitido a todas las partes del horno por medio de la radiación. Cuando las áreas cercanas a la fuente de calor se tornan incandescentes estas áreas emiten calor, así liberando este por radiación hacia otras superficies. El calor viaja de una superficie a otra y de un objeto a otro de esta manera. Cuando las superficies internas del horno son muy reflejantes, se facilita la transferencia de calor por radiación. Las superficies blancas y lisas dentro de un horno, irradian mas calor que las superficies coloreadas y ásperas, de esto se entiende porque es que las superficies de los hornos presentan colores y aspersionidad, a fin de facilitar la transferencia de calor.

7.2 Conducción en Estado Estacionario – Dimensiones Múltiples

Se analizará la transferencia de calor en estado estacionario en sistema en que el gradiente de temperatura y áreas pueden expresarse en términos de dos y tres coordenadas espaciales. Si la capa de aislante es delgada en comparación con las dimensiones del horno, es valido suponer que el flujo de calor es unidimensional. Sin embargo, los hornos de alta temperatura como el que se presentara deben tener capas espesas de aislante a fin de reducir la perdida de calor; en estos hornos el flujo de calor por las aristas es bidimensional, mientras que por los vértices es tridimensional. La conducción estacionaria bidimensional sin generación de calor interna esta regida por la ecuación de Laplace

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = 0 \quad \text{Ec. 7.1}$$

La forma clásica de resolver la ecuación de Laplace es por el método de separación de variables.

Suponiendo una conductividad térmica constante, la solución a la Ec. 7.1 puede obtenerse por técnicas analíticas, numéricas o gráficas.

El objetivo de cualquier análisis de transferencia de calor es en su mayoría predecir el flujo de calor, es decir, cuanto calor se requiere para obtener una temperatura dentro de un espacio. En nuestro caso usaremos el análisis de transferencia de calor, para determinar cuanto calor es necesario para mantener las temperaturas especificadas anteriormente, o la temperatura que resulte de un cierto flujo de calor.

La Ec. 7.1 dará la temperatura de un cuerpo bidimensional, en función de las dos coordenadas espaciales x y y . Entonces el flujo de calor en las direcciones x y y pueden calcularse de la ecuación de Fourier.

$$q_x = -kA_x \frac{\partial T}{\partial x} \quad \text{Ec. 7.2}$$

$$q_y = -kA_y \frac{\partial T}{\partial y} \quad \text{Ec. 7.3}$$

Estas cantidades de flujo de calor están dirigidas ya sea en la dirección x o bien en la dirección y . El flujo de calor total en cualquier punto en el material es la resultante de los flujos de calor q_x y q_y en ese punto. Relacionado a lo anterior la resultante debe encontrarse de una forma vectorial para saber la dirección en cada punto de la superficie, así, el vector de flujo total esta dirigido de manera que sea perpendicular a las líneas de temperatura constante en el material como se muestra en la figura 7.1. De este modo, la distribución de temperaturas en el material se conoce, y así podemos establecer el flujo de calor con facilidad.

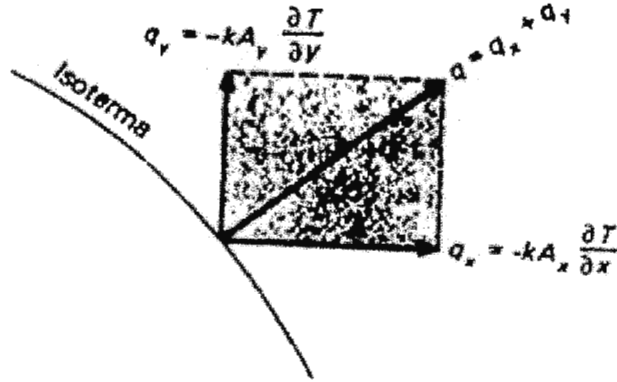


FIGURA 7.1: Esquema que muestra el flujo de calor en dos dimensiones.

7.3 Conducción de Calor en estado Bidimensional; Solución Gráfica

Se utiliza una técnica de solución gráfica, denominada graficación de flujo, que es cómoda, útil y rápida para la conducción de calor en estado estable en un sistema bidimensional con fronteras isotérmicas. Esta técnica es un enfoque válido para resolver la Ec. 7.1, lo que hace una representación gráfica por unidad de área, usado para la conducción bidimensional e implica el trazado de isoterms y de líneas de flujo de calor, donde $T(x, y)$ tiene un valor constante en todas las fronteras.

En una pared semi-finita con temperatura superficial constante, las isoterms y líneas de flujo de calor aparecen como se muestra en la figura 7.2. En la pared, las isoterms son líneas rectas verticales y las líneas de flujo de calor son horizontales, perpendiculares a las isoterms, representado en la figura 7.2.

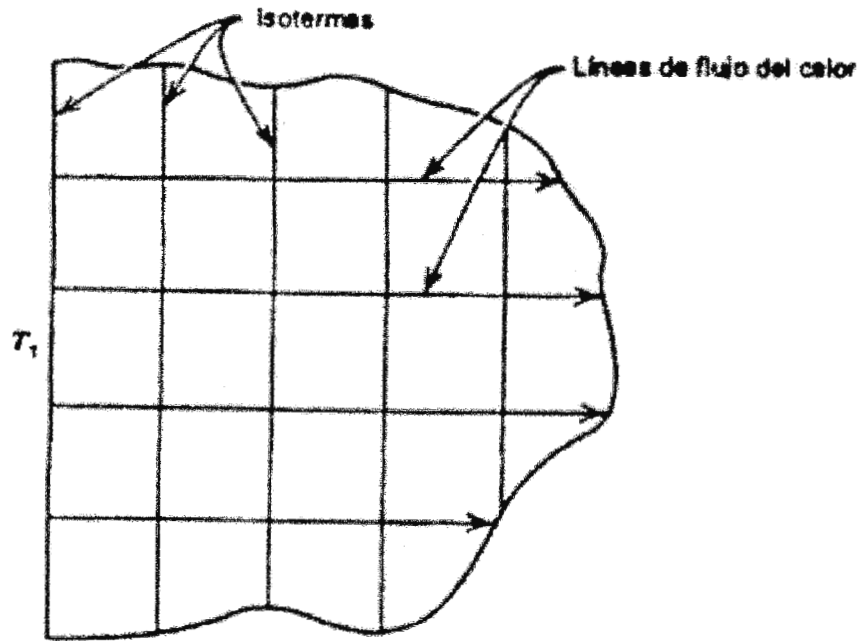


FIGURA 7.2: Isotermas y líneas de flujo de calor en una pared semi-infinita.

Si existe una diferencia constante de temperatura entre dos isotermas cualesquiera, entonces la diferencia entre ellas indica la magnitud del gradiente de temperatura.

Ya que la transferencia de calor ocurre por la conducción bajo la influencia de un gradiente de temperatura, es claro y fácil de entender que no existe ninguna fuerza motriz o una realización de trabajo para la transferencia de calor a lo largo de una isoterma.

Los conceptos anteriores son importantes cuando se está considerando un problema en el cual la conducción es bidimensional en forma más general. En la figura 7.3, se considera un conjunto de dos isotermas y dos líneas de flujo de calor. Las dos isotermas difieren entre sí en un delta de temperatura ΔT . Las líneas de flujo de calor son perpendiculares a las líneas isotermas y podemos suponer que forman un paso o conducto a través del cual puede fluir una cantidad de calor Δq .

Si en una sección transversal total hay N pasos de flujos de calor, por cada uno de los cuales fluye una cantidad de calor Δq , la transferencia de calor total esta dada por:

$$q_{total} = N\Delta q \quad \text{Ec. 7.4}$$

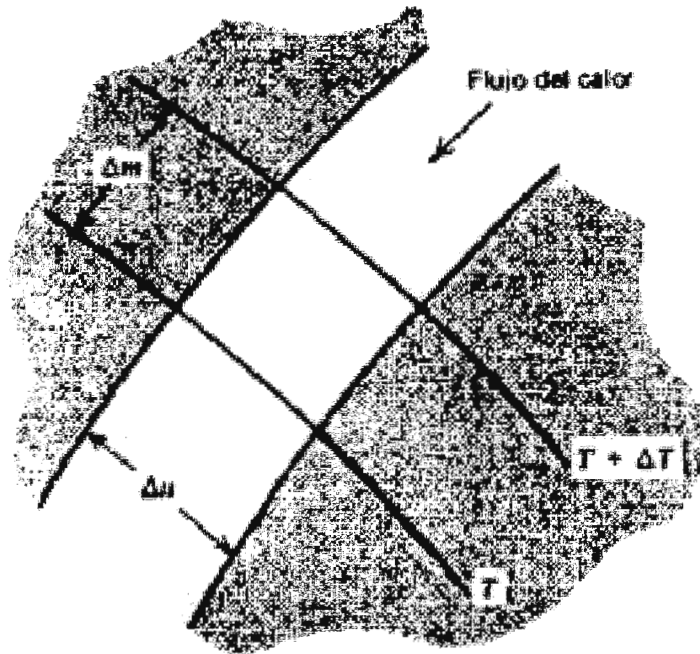


FIGURA 7.3: Representación gráfica de un elemento para el análisis de graficación de flujo.

Para el paso individual del flujo de calor mostrado en la figura 7.3, el gradiente de temperatura, en forma de diferencias finitas es $[(T + \Delta T) - T] / \Delta m = \Delta T / \Delta m$. Entonces, para que Δq de la ecuación de la razón de Fourier, suponiendo una profundidad unitaria de material será:

$$\Delta q = -k\Delta n \frac{\Delta T}{\Delta m} \quad \text{Ec. 7.5}$$

Si se construye la malla de isotermas/líneas de flujo de calor de manera que $\Delta m = \Delta n$, o sea, que se forme un sistema de cuadrados curvilíneos, la expansión para Δq se reduce sencillamente a:

$$\Delta q = -k\Delta T \quad \text{Ec. 7.6}$$

Para el flujo de calor entre las dos fronteras isotérmicas a las temperaturas T_h y T_c en donde $T_h > T_c$, con isotermas que dividen cada tubo de flujo en M divisiones, la diferencia de temperaturas entre isotermas adyacentes se expresa como:

$$\Delta T = \frac{T_h - T_c}{M} \quad \text{Ec. 7.7}$$

Finalmente, para un total de N pasos de flujo entre las fronteras en T_h y T_c cada una con una cantidad Δq de flujo de calor, la transferencia de calor total es:

$$q_{total} = \frac{N}{M} k(T_h - T_c) \quad \text{Ec. 7.8}$$

$$q_{total} = N\Delta q = Nk\Delta T$$

La razón M/N será el factor de forma S . Entonces, la técnica de graficación de flujo es sencillamente una forma de determinar el valor para el factor de forma en un problema de conducción de calor bidimensional en estado estable en donde las fronteras están a temperaturas constantes.

Para una pared tridimensional, como la de un horno, se utilizan diversos factores de forma para calcular el flujo de calor a través de las secciones de los bordes y vértices. Cuando las dimensiones interiores son mayores que un quinto del espesor de la pared.

$$S_{vista} = 0.54D \qquad S_{vertice} = 0.15L \qquad S_{pared} = \frac{A}{L}$$

donde:

- A = área de la pared.
- L = longitud de la pared.
- D = longitud del vértice.

Estas dimensiones se encuentran ilustradas en la figura 7.4. Obsérvese que el factor de forma por unidad de profundidad esta dado por la razón M/N cuando se utiliza de cuadros curvilíneos para los cálculos.

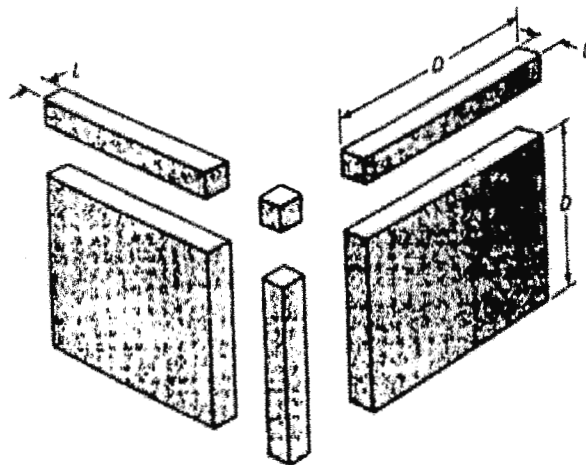


FIGURA 7.4: Esquema que ilustra dimensiones que se utilizan en el calculo de factores de forma

En el Anexo 4a se proporcionan los factores de forma para algunas configuraciones bidimensionales comunes.

7.4 Transferencia de Calor por Convección Natural

La convección natural o libre, se observa como el resultado del movimiento del fluido debido a cambios de densidad que provienen del proceso de calentamiento. En las paredes exteriores de un horno se da la transferencia de calor por convección libre, el movimiento del fluido adyacente a estas paredes, es el resultado de las fuerzas de empuje impuestas sobre el fluido cuando su densidad cerca de la superficie de transferencia de calor disminuye debido al proceso de calentamiento. Las fuerzas de flotación no estarían presentes si el fluido sufriera la acción de alguna fuerza externa como la gravedad y viscosidad. A la razón de las fuerzas de flotación a las fuerzas viscosas en el sistema de flujo de convección libre se llama número de Grashof, el cual tiene el papel similar al que juega el número de Reynolds en el sistema de convección forzada y es la variable fundamental usada como criterio para la transición de flujo de capa límite de laminar a turbulento.

La ecuación adimensional que representa el número de Grashof es

$$Gr_f = \frac{g\beta(T_w - T_\infty)x^3}{\nu^2} \quad \text{Ec. 7.9}$$

Otra ecuación adimensional que nos será de utilidad es el número de Prandtl, este es un parámetro que relaciona los espesores relativos de las capas límites hidrodinámicos y térmicos, su ecuación se representa por:

$$Pr_f = \frac{c_p \mu}{k} \quad \text{Ec. 7.10}$$

Donde el subíndice f indica las propiedades de las variables en los grupos adimensionales se evalúa a la temperatura de la película con la siguiente ecuación:

$$T_f = \frac{T_\infty - T_w}{2} \quad \text{Ec. 7.11}$$

En la en el Anexo 4b se proporcionan las propiedades del aire a presión atmosférica. Para expresar el efecto total de la convección, se utiliza la ley de enfriamiento de Newton.

$$q = hA(T_w - T_\infty) \quad \text{Ec. 7.12}$$

La rapidez de transferencia de calor esta relacionada con la diferencia de temperatura total entre la pared y el fluido, y el área de la superficie A.

A la cantidad h se le llama coeficiente de transferencia de calor por convección. Para algunos sistemas se puede realizar un cálculo analítico de h. Para situaciones complejas se deberá determinar experimentalmente. En el Anexo 4c se dan las ecuaciones simplificadas para el coeficiente de transferencia de calor a partir de diferentes superficies hacia el aire, a presión atmosférica y temperaturas moderadas.

7.5 Análisis de Combustión

En este tema se determinan las características más importantes del combustible a utilizar para quemado de las piezas cerámicas en el horno a diseñar.

Puede decirse que una combustión es la reacción química entre el oxígeno con diversas sustancias, en general podemos mencionar el carbono (C) y el hidrogeno bimolecular (H_2). En la mayoría de los casos el portador del oxígeno es el aire. Cuya fracción molar del oxígeno es $\psi_{O_2} = 0.21$. El nitrógeno y los demás componentes del aire no reaccionan con el combustible. En muchos cálculos no se toman en cuenta. La figura 7.5 muestra el esquema de una cámara en el que tiene lugar una combustión. Los productos reaccionantes son el combustible y el aire. Los productos de la combustión que son de fase gaseosa se denominan humos o gases de escape. Las cenizas que puede haber, están formadas por componentes no combustibles o no quemados del combustible.

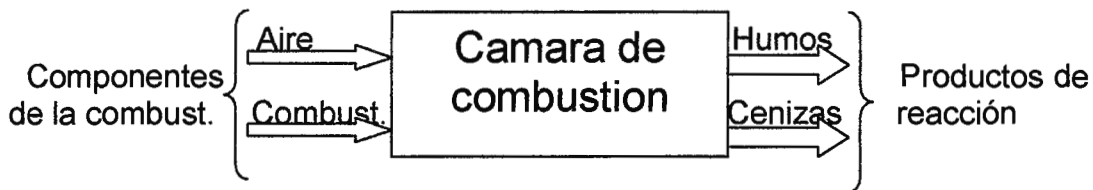


FIGURA 7.5: Esquema de un hogar o cámara de combustión

La combustión se denominara completa cuando toda la parte del combustible se ha oxidado al máximo, por ejemplo si el combustible ha pasa a CO_2 , H_2O , SO_2 , etc. pero si la combustión es incompleta, los productos de la combustión poseen sustancias todavía capaces de ser oxidadas por ejemplo CO que puede pasar a CO_2

En la técnica del horneado de piezas cerámicas es necesario poder simular diferentes condiciones de combustión y llamaremos atmósfera reductora, cuando en el interior de un horno no existe suficiente oxígeno, pero si monóxido de carbono, esto es debido a que los óxidos presentes en los esmalte y pastas (como el óxido de

hierro y cobre) se reducen, o sea que pierden oxígeno por sobre los 800°C con lo que alteran mucho su color y efectos especiales. Cuando exista un exceso de oxígeno tendremos una atmósfera oxidante y si la cantidad de oxígeno dentro del horno es muy poca, por decir un 2% ó 3% se dice que es neutra, es decir, que la cantidad de oxígeno ha sido la necesaria para desarrollar la combustión.

7.6 Balance de las Materias en las Combustiones Completas

Los balances de materia a considerar en una combustión, tienen por objeto determinar las cantidades de oxígeno o aire necesarios para efectuar dicha combustión. También tienen interés conocer la cantidad y composición de los productos de la combustión.

7.6.1 Mezcla de Combustible Químicamente Uniformes

Si el combustible es químicamente uniforme por ejemplo, C_3H_8 (propano), o bien una mezcla de combustibles químicamente uniformes por ejemplo el gas que distribuye Shell El Salvador (este puede tener diferentes composiciones una de ellas es 70% de propano C_3H_8 y 30% de butano C_4H_{10}), en estos los balances de la materia son fáciles. Los balances que realizaremos serán entre los números de moles de las sustancias que intervienen en la reacción y no entre sus masas m_i . Entre n_i y m_i existe la conocida relación:

$$m_i = M_i n_i$$

En la que M_i es la masa molar de la sustancia i .

A continuación se desarrollara el balance estequiométrico del gas propano cuya composición volumétrica, si consideramos que los gases que intervienen son ideales, entonces la composición en fracción molar coincide con la composición volumétrica, la cual es 70% C_3H_8 y 30% C_4H_{10} . También se calculara la cantidad necesaria de aire para que se realice una combustión completa y el poder calorífico inferior

Componentes	Fracción molar	Reacción	Consumo de oxígeno en Kmol O ₂ / Kmol gas	Producción de la combustión en Kmol O/ Kmol gas			
				CO ₂	H ₂ O	O ₂	N ₂
C ₃ H ₈	0.7	C ₃ H ₈ +5O ₂ → 3CO ₂ +4H ₂ O	0.7x5 = 3.50	2.1	2.8	--	--
C ₄ H ₁₀	0.3	C ₄ H ₁₀ +13/2O ₂ → 4CO ₂ +5H ₂ O	0.3x(13/2) = 1.95	1.2	1.5	--	--
Suma	1.0	Empleando el aire mínimo 5.45 O ₂ +N ₂ adicionalmente cuando λ = 1.2		3.3	4.3	--	20.5
						1.09	4.10
				3.3	4.3	1.09	24.6
TOTAL DE MOLES DE LOS PRODUCTOS				33.29			

Como se observa el número total de moles de los productos es 33.29, con el cual se puede conocer los porcentajes de cada uno de ellos:

$$\text{CO}_2 = \frac{3.3}{33.29}(100) = 9.91\%$$

$$\text{H}_2\text{O} = \frac{4.3}{33.29}(100) = 12.92\%$$

$$\text{O}_2 = \frac{1.09}{33.29}(100) = 3.27\%$$

$$\text{N}_2 = \frac{24.6}{33.29}(100) = 73.90\%$$

El CO₂ y el N₂ no reaccionan con el combustible, por lo que no liberarán energía, solamente estarán recirculando dentro del horno, ayudando de esta forma en la transferencia de calor hacia las piezas y un porcentaje de ellos se estará evacuando al exterior por medio de la chimenea. Con respecto al H₂O este estará presente como vapor, por lo que será necesario considerarlo, en la sección 7.1 se tomará en cuenta con la potencia calorífica del combustible. El O₂ resultante ayuda a mantener una atmósfera rica en oxígeno y de esta forma contribuir a una combustión completa de la mezcla.

Como la fracción molar del oxígeno es el aire. Suponemos que el aire está seco, posee cero porcentajes de humedad y que su composición es de 21 moles % de O₂ y 79 moles % de N₂, por lo que la fracción molar es de 0.21 y el consumo mínimo de aire será:

$$l_{\min} = \frac{\sigma_{\min}}{0.21} = \frac{5.45 \frac{\text{kmol O}_2}{\text{kmol de gas}}}{0.21 \frac{\text{kmol O}_2}{\text{kmol de aire}}} = 25.95 \frac{\text{kmol de aire}}{\text{kmol de gas}}$$

Los estudios realizados anteriormente y la experiencia en relación a un valor, indica que con este valor mínimo hallado no se obtiene una combustión completa. Por lo tanto se añade un exceso de aire. La cantidad de aire real introducido se encontrará a partir de la siguiente ecuación:

$$l = \lambda \cdot l_{\min}$$

Siendo λ el coeficiente de exceso de aire, en nuestro caso tomamos 1.20 y obtenemos:

$$l = 1.20 \times 25.95 \frac{\text{kmol de aire}}{\text{kmol de gas}}$$

$$l = 31.14 \frac{\text{kmol de aire}}{\text{kmol de gas}}$$

Si la composición se desea de relaciones de masa, entonces hay que realizar los cálculos tomando en cuenta la masa molar de la mezcla, donde:

$$M_m = M_A \psi_A + M_B \psi_B + M_C \psi_C + \dots$$

Por lo tanto:

$$M_m = M_{C_3H_8} \psi_{C_3H_8} + M_{C_4H_{10}} \psi_{C_4H_{10}}$$

$$M_m = 44.09 \times 0.7 + 58.12 \times 0.3$$

$$M_m = 48.30$$

$$M_m = 48.30 \frac{kg}{kmol}$$

El aire real introducido será entonces

$$l_{real} = l \frac{M_{aire}}{M_m}$$

$$l_{real} = 18.67 \frac{kmol \text{ de aire}}{kmol \text{ de gas}} \quad (\text{una relación } \lambda \text{ 19:1})$$

7.7 Potencia Calorífica

7.7.1 Potencia Calorífica de los Combustibles

La potencia calorífica de un combustible es el calor liberado (energía liberada) por una combustión completa, referida a la masa del combustible. Habiendo sido enfriados los productos de la combustión hasta la temperatura que tenía el combustible y el aire de la combustión. La potencia calorífica por unidad de masa de combustible será entonces la potencia calorífica específica:

$$q_p = i'(t, p) - i''(t, p)$$

A menudo es recomendable referir la potencia calorífica en relación al número de moles de combustible. Obteniendo así la potencia calorífica molar:

$$\mathfrak{R} = M_B q_p = \mathfrak{I}'(t, p) - \mathfrak{I}''(t, p)$$

Siendo M_B la masa molar del combustible.

De la definición de potencia calorífica se deduce que esta es una propiedad del combustible de que la potencia calorífica sea completa, su valor no depende de que la combustión realizada empleando oxígeno puro o aire con más o menos exceso.

En la determinación de la potencia calorífica, no solo hay que tener en cuenta que los productos reaccionantes tengan las mismas temperaturas antes y después de la combustión, sino que hay que considerar también la fase en que estos se encuentran. En el caso de el agua a la temperatura ambiente esta se puede hallar en forma líquida o bien en forma de vapor. La entalpia del agua en forma líquida o gaseosa, a la misma temperatura, difirieren en su entalpia de vaporización r . Por lo tanto, vamos a hacer la distinción entre potencia calorífica superior e inferior, en el caso que los humos resultantes contengan agua tanto en forma de vapor como líquida.

La potencia calorífica superior denominada por q_{po} , que considera que el agua esta líquida en los productos de combustión. En cambio la potencia calorífica inferior denominada por q_{pu} , considera que cuando el agua en productos gaseosos se haya en forma de vapor.

Si el combustible es una mezcla de sustancias puras, su potencia calorífica se obtiene sumando las potencias caloríficas de sus componentes. Para ello se deberá conocer la composición de la mezcla.

La potencia calorífica del combustible gaseoso que contiene 70% de C_3H_8 y 30% de C_4H_{10} es:

Componentes	Fracción molar en la mezcla	q_{pu} en Btu/lb	Fracción de la potencia calorífica de la mezcla en Btu/lbmol
C_3H_8	0.7	21.591	666,363.03
C_4H_{10}	0.3	21.221	370,009.36

La potencia calorífica de la mezcla

$$q_{pu} = 1,036,372.40 \frac{Btu}{lbmol}$$

$$q_{pu} = \frac{1,036,372.40}{48.30}$$

$$q_{qu} = 21,456.99 \frac{Btu}{lb}$$

CAPITULO II

8.0 CRITERIOS PARA EL DISEÑO DEL HORNO

9.0 CONSIDERACIONES GENERALES

10.0 DISEÑO DEL HORNO

11.0 DETERMINACION DEL COSTO DEL DISEÑO DEL HORNO

12.0 ANALISIS DEL FUNCIONAMIENTO DEL HORNO

**13.0 CONSIDERACIONES PARA MINIMIZAR EL IMPACTO
AMBIENTAL GENERADO POR LA INDUSTRIA CERAMICA**

8.0 CRITERIOS PARA EL DISEÑO DEL HORNO

A continuación se presentan los criterios generales que sirven como base para el diseño del horno:

- FUNCION
- SEGURIDAD
- ECONOMIA
- IMPACTO AMBIENTAL

Cada uno de los criterios anteriores se pueden adecuar a:

- Tipo de Combustible a Utilizar:
 - El combustible a utilizar no tenga un impacto ambiental notorio.
 - Es económico utilizar gas propano como combustible.
 - Asegurarnos que no haya explosiones.
 - No contaminar el producto.
- Tipo de Fibra Cerámica:
 - Para poder conocer las pérdidas de calor que se presentarán en el horno.
- Características de los Accesorios:
 - Para poder así seleccionar el más adecuado para un mejor funcionamiento.
- Características de la pasta cerámica que se utiliza en la fabricación de los productos:
 - Para adecuar el funcionamiento y el análisis de transferencia de calor a ellos.
- Forma y Volumen del Horno:
 - Porque influye en las pérdidas totales por calor que se presentan durante el funcionamiento.

9.0 CONSIDERACIONES GENERALES

Para realizar el diseño del horno es necesario definir ciertos parámetros importantes, estos son:

- Temperatura de los gases producidos por la combustión.
- Trayectoria del flujo de los gases dentro del horno.
- Volumen del horno.
- Potencia calorífica requerida por volumen del horno.
- Tipo de fibra cerámica a utilizar.

9.1 Temperatura de los Gases producidos por la Combustión

De acuerdo a la sección 7.6.1 (Mezcla de combustibles químicamente uniformes), los productos que se forman al momento de la combustión son los siguientes:

ELEMENTO	PORCENTAJE (%)
CO ₂	9.91
H ₂ O	12.92
O ₂	3.27
N ₂	73.90

La energía liberada al momento de la combustión, por la reacción química del combustible con el aire se puede expresar en 2 formas:

- Pérdidas de calor hacia los alrededores.
- Temperatura de los gases de combustión.

Esto se debe a que el horno se considera como una máquina que no produce trabajo, debido a que no transfiere energía hacia otro agente externo, la energía disponible es la que da el combustible hacia el "espacio" del horno, en ese sentido el horno funciona como una cámara que almacena dicha energía y no como un agente generador o consumidor de energía.

Las pérdidas de calor entre menores sean, mayor será la temperatura de los gases de combustión, es por eso que es necesario calcular a que temperatura estarán dichos productos.

Determinación de la temperatura de los productos:

La temperatura máxima que alcancen los productos se denomina “temperatura de flama adiabática o de combustión adiabática”. Esta se expresa por la siguiente ecuación:

$$\sum_{prod} N_i (\Delta h_f^{\circ} 298 + h_i - h_{298})_i = \sum_{reacc} N_i (\Delta h_f^{\circ} 298 + h_i - h_{298})_i \quad \text{Ec. 9.1}$$

en donde:

- N_i : Número de moles de cualquier producto o reactivo
- $\Delta h_{f,298}$: Entalpía de formación a una referencia de 298K
- h_{298} : Entalpía a una temperatura de 298K
- h_T : Entalpía a temperatura de flama adiabática

El proceso para encontrar dicha temperatura es el siguiente: los números de moles (N_i) de los productos y reactivos se conocen debido a que la combustión debe ser completa. Los valores de $\Delta h_{f,298}$ y h_{298} se conocen de tablas (Ver Anexo 5)

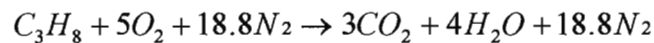
Se hace un balance entre los reactivos y productos (lado derecho e izquierdo de la ecuación 9.1) y se asume una temperatura para encontrar el valor de h_T , luego se compara el lado de los productos (lado izquierdo) con el de los reactivos (lado derecho) el proceso de sustituir valores de temperatura continua hasta que ambos lados de la ecuación son casi iguales, entonces esa temperatura asumida se toma como la temperatura de flama adiabática. Evidentemente es necesario hacer varias iteraciones hasta llegar al valor estimado de temperatura. Es importante mencionar que el valor calculado (valor máximo), en la práctica no se obtiene, en realidad el valor calculado suele ser mayor que el real, esto se debe a que la combustión rara vez es completa, las pérdidas de calor no pueden eliminarse por completo y algunos productos de la combustión se disociarán en otras sustancias como resultado de las

altas temperaturas. Estas reacciones de disociación son generalmente endotérmicas y consumen algo de la energía liberada por la combustión.

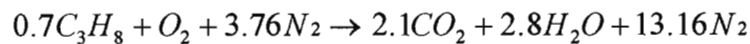
A continuación se procede a calcular la temperatura de los gases de los productos:

Para el Propano (C₃H₈):

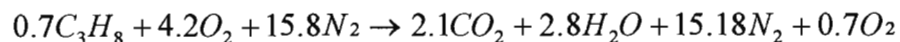
La ecuación considerando 100% de gas propano es:



Pero como el propano en la mezcla es del 70%, la ecuación anterior debe de multiplicarse por 0.7, lo cual nos queda:



Esta ecuación es para 100% de aire teórico, es decir para una combustión completa, como explicamos anteriormente en la sección 7.6.1, se asumió un exceso de aire de 20% para asegurarnos que en la realidad tengamos una combustión completa, esto quiere decir que se ocupa un 120% de aire teórico, con este porcentaje los productos se ven afectados, de manera que la ecuación de combustión nos queda:



Ocupando la ecuación 9.1:

Analizando los Reactivos:

Para el Propano (C₃H₈): $0.7 (\Delta h_{f, 298} + h_T - h_{298})$

De la tabla del Anexo 5a: para una temperatura de 25°C y 1 atm

$$\Delta h_{f, 298}^o = -103,850 \frac{KJ}{Kgmol}$$

$$h_{298} = -15,060 \frac{KJ}{Kgmol} \quad h_T = 0$$

Sustituyendo: $0.7 (-103,850 - (-15,060)) = -62,153$

Para el Oxígeno (O₂): 4.2 ($\Delta h_{f, 298} + h_T - h_{298}$)

De la tabla para el oxígeno Anexo 5b: la temperatura del oxígeno será la temperatura externa del aire, que se definió como de 32°C = 305.15K

Interpolando:

T° (K)	h _T
300	8736
305.15	X
310	9030

$$X = 8887.41 \frac{KJ}{Kgmol}$$

$$\Delta h_{f, 298}^o = 0 \quad h_{298} = 8682 \frac{KJ}{Kgmol}$$

Sustituyendo: 4.2 (8887.41-8682)=862.72

Para el Nitrógeno (N₂): 15.8 ($\Delta h_{f, 298} + h_T - h_{298}$)

De la Tabla para el nitrógeno Anexo 5c: La temperatura del nitrógeno será la temperatura externa del aire, que se definió como de 32°C = 305.15K

Interpolando:

T° (K)	h _T
300	8723
305.15	X
310	9014

$$X = 8872.87 \frac{KJ}{Kgmol}$$

$$\Delta h_{f, 298}^o = 0 \quad h_{298} = 8669 \frac{KJ}{Kgmol}$$

Sustituyendo: 15.8 (8872.87-8669)=3,221.15

Analizando los Productos:

Para el Bióxido de Carbono (CO₂): 2.1 ($\Delta h_{f, 298} + h_T - h_{298}$)

De la tabla para CO₂ del Anexo 5d:

$$\Delta h_{f, 298}^{\circ} = -393,520 \frac{KJ}{Kgmol}$$

$$h_{298} = 9364 \frac{KJ}{Kgmol}$$

Sustituyendo: 2.1 (-393,520+h_T-9364)=2.1 (-402,884+h_T)

Para el Agua (H₂O): 2.8 ($\Delta h_{f, 298} + h_T - h_{298}$)

De la tabla para H₂O del Anexo 5e:

$$\Delta h_{f, 298}^{\circ} = -241,820 \frac{KJ}{Kgmol}$$

$$h_{298} = 9904 \frac{KJ}{Kgmol}$$

Sustituyendo: 2.8 (-241,820+h_T-9904)=2.8 (-231,916+h_T)

Para el Nitrógeno (N₂): 15.18 ($\Delta h_{f, 298} + h_T - h_{298}$)

De la tabla para el N₂ del Anexo 5c:

$$\Delta h_{f, 298}^{\circ} = 0$$

$$h_{298} = 8,669 \frac{KJ}{Kgmol}$$

Sustituyendo: 15.18 (h_T-8669)

Para el Oxígeno (O₂): 0.7 ($\Delta h_{f, 298} + h_T - h_{298}$)

De la tabla del O₂ del Anexo 5b:

$$\Delta h_{f, 298}^o = 0$$

$$h_{298} = 8682 \frac{KJ}{Kgmol}$$

Sustituyendo: 0.7 ($h_T - 8682$)

Sustituyendo en la ecuación 9.1:

$$-62,153 + 862.72 + 3,221.15 = 2.1(-402,884 + h_{T(CO_2)}) + 2.8(-231,916 + h_{T(H_2O)}) + 15.18(h_{T(N_2)} - 8,669) + 0.7(h_{T(O_2)} - 8,682)$$

$$-58,069.13 = -1,633,094.02 + 2.1h_{T(CO_2)} + 2.8 h_{T(H_2O)} + 15.18h_{T(N_2)} + 0.7h_{T(O_2)}$$

$$1,575,024.89 = 2.1h_{T(CO_2)} + 2.8 h_{T(H_2O)} + 15.18h_{T(N_2)} + 0.7h_{T(O_2)} \quad (\text{Ec. 9.2})$$

Se tomará como base al nitrógeno N₂, debido a que en la reacción química total este representa el 73.05% de los productos:

$$20.78h_{T(N_2)} = 1,575,024.89$$

$$h_T = \frac{1,575,024.89}{20.78} = 75,795.23 \frac{KJ}{Kgmol}$$

Buscando este valor en el Anexo 5e, para este valor de h, corresponde una temperatura de:

T° (K)	h _T
2300	75,676
X	75,795.23
2350	77,496

$$X = 2,303.28K = 2,030.13^\circ C$$

Tenemos un valor de $T^\circ = 2,303.28K$, este valor es demasiado alto debido a que los productos CO_2 , H_2O tienen una capacidad térmica específica promedio C_p mayor que la del nitrógeno, como resultado absorben, más energía por mol para un cambio de temperatura dado que la que absorbe el nitrógeno, por eso el efecto de la presencia de estos gases es la de disminuir la temperatura final con respecto al valor que se asumió.

En la siguiente tabla se muestra un resumen de las iteraciones hechas, tomando distintas temperaturas y comparando los resultados del balance de energía de la ecuación 9.2:

Para $T^\circ=2300K$	
2.1h _T (CO ₂)	249,973.5
2.8h _T (H ₂ O)	274,957.2
15.18h _T (N ₂)	1,148,761.68
0.7h _T (O ₂)	55,521
TOTAL	1,729,213.58

Para $T^\circ=2200K$	
2.1h _T (CO ₂)	237,171.9
2.8h _T (H ₂ O)	260,232.0
15.18h _T (N ₂)	1,093,567.2
0.7h _T (O ₂)	52,838.8
TOTAL	1,643,803.90

Para $T^\circ=2100K$	
2.1h _T (CO ₂)	224,414.4
2.8h _T (H ₂ O)	245,658.0
15.18h _T (N ₂)	1,038,570.06
0.7h _T (O ₂)	50,167.60
TOTAL	1,558,810.06

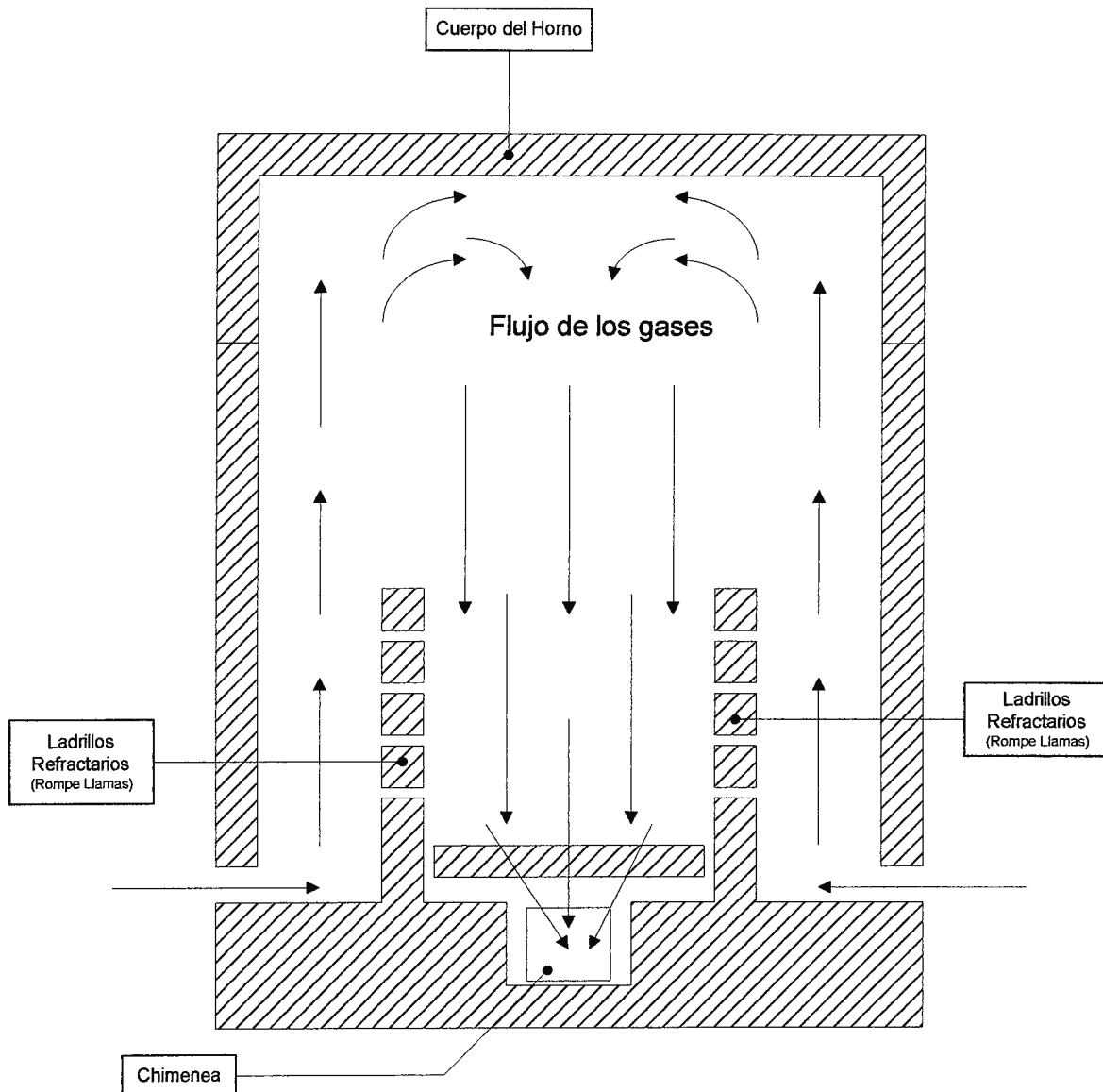
Comparando la ecuación 9.2 con la tabla para una temperatura de 2,100K nos damos cuenta que es pequeña la diferencia, por lo que decimos que la temperatura de los gases al momento de la combustión será de alrededor de unos 2,100K = 1,826.85°C

9.2 Trayectoria del Flujo de los Gases dentro del Horno

La trayectoria del flujo de los gases es importante debido a que estos estarán transfiriendo calor hacia las piezas, por lo que influyen en la distribución de la temperatura dentro del horno. De la sección 9.1 conocemos a que temperatura se encuentran estos gases (alrededor de unos $1,827^{\circ}\text{C}$)

El flujo de los gases dentro del horno es como se ilustra en el siguiente esquema:

FIGURA 9.1: Flujo de Gases en el Interior del Horno



Se observa en el esquema anterior que la llama chocará contra los ladrillos refractarios que sirven como rompe llamas, el uso de un rompe llamas se justifica con el hecho de que servirá como:

- Desviar el flujo hacia la parte superior del horno para luego descender hasta la chimenea.
- Hacer más homogénea la temperatura dentro del horno debido a que al desviar el flujo de los gases hacia la parte superior del horno estos irán descendiendo hasta la parte inferior para luego ser evacuados por la chimenea.
- Proteger las piezas del contacto directo de la llama de los quemadores, evitando que estas se dañen por el choque térmico.

Los ladrillos del que estará hecho el rompe llamas son de Extra Alta Alúmina, debido a que deben soportar altas temperaturas (alrededor de 1827°C), observando el Anexo 6 correspondiente al catálogo que maneja la empresa OXGASA, se selecciona el CORALITE M, debido a que puede soportar temperaturas entre 1835°C y 1885°C, además de tener un precio razonable. Con respecto a las dimensiones ver el Anexo 6.

Otro aspecto importante que podemos observar, es que la chimenea se encuentra en la parte inferior del horno, este tipo se denomina "Chimenea de tiro invertido", además que la distribución de los quemadores será lateral y estarán instalados horizontalmente para que puedan proporcionar el flujo que se observa en la figura anterior. Basándose en la experiencia se ha determinado que los hornos con chimenea de tiro invertido que poseen una distribución horizontal de los quemadores y conectados a un tanque de GLP (Gas Licuado de Petróleo), es la forma más recomendada para hornos a gas.

9.3 Volumen del Horno

En la sección 6.5, se definió que el horno tendrá un volumen de 1m^3 , pero como explicamos anteriormente este valor se podrá cambiar en el software de simulación y adaptar el diseño del horno al nuevo valor que se seleccione.

9.4 Potencia Calorífica requerida por el volumen del Horno

Este aspecto es muy importante dentro del diseño del horno, debido a que representa la cantidad de calor que demanda el volumen del horno y que el gas debe de suministrar, en realidad el gas debe de suministrar tanto esta potencia debido al volumen, así como también las pérdidas por calor que se den en el horno.

Consultando a la empresa TROPIGAS S.A. de C.V. esta recomienda que cada ft^3 de espacio demanda alrededor de 16,000 Btu/h, este valor que manejan aplica como un valor aproximado para cualquier tipo de horno alimentado con gas propano. Es importante mencionar que en el documento se hace un análisis para estado transitorio y estacionario, el cual nos permitirá conocer la potencia que demanda el horno. También hace falta agregarle las pérdidas por calor que se producen al momento del funcionamiento, que más adelante las encontraremos y tomaremos en cuenta para la potencia total del horno.

9.5 Tipo de Fibra Cerámica a Utilizar

La función de la fibra cerámica será la de mantener la mayor diferencia de temperatura entre las caras internas y externas de las paredes del horno. Esta diferencia dependerá de:

- La conductividad térmica de la fibra cerámica.
- La cantidad de calor que se perderá a través de las paredes.
- Espesor de la fibra cerámica.
- Área perpendicular al flujo de calor.

Adicional a esto se requiere que la fibra pueda soportar temperaturas de alrededor de 1,300°C, debido a que a esa temperatura se encontrará el interior del horno. En el mercado existen diversos tipos de fibras, en la sección de anexos se presentan las características de ellas (Anexo 7).

Se determinó utilizar la fibra cerámica SAFFIL® ALUMINA LD MAT, debido a que puede soportar temperaturas hasta de 1,648°C (3,000°F) y posee baja conductividad térmica, ver Anexo 7 para características.

10.0 DISEÑO DEL HORNO

El diseño del Horno se divide en 3 partes:

- Estructura metálica del Horno
- Diseño de las paredes del Horno
- Determinación de los sistemas de operación y de alimentación del Horno

10.1 Estructura Metálica del Horno

La función de la estructura metálica será la de sostener las paredes del horno y proporcionar rigidez a las mismas. Esta estructura descansará sobre una base de ladrillos refractarios que serán del mismo tipo del que esta hecho el rompellamas.

La estructura metálica debe de formar un cuerpo de aproximadamente 1m^3 de volumen exterior, y dimensiones de $38'' \times 38'' \times 39''$ ($0.96 \times 0.96 \times 0.99 \text{ m}$), dicha estructura estará hecha con un ángulo de hierro de $1'' \times 1/8''$, Se eligió este tipo de material debido a que puede soportar las temperaturas con la que estará trabajando la parte exterior del horno. En la sección de anexos se presenta el plano del horno donde se especifican sus dimensiones, estructuras, disposición de tuberías y composición de las paredes y puerta del mismo.

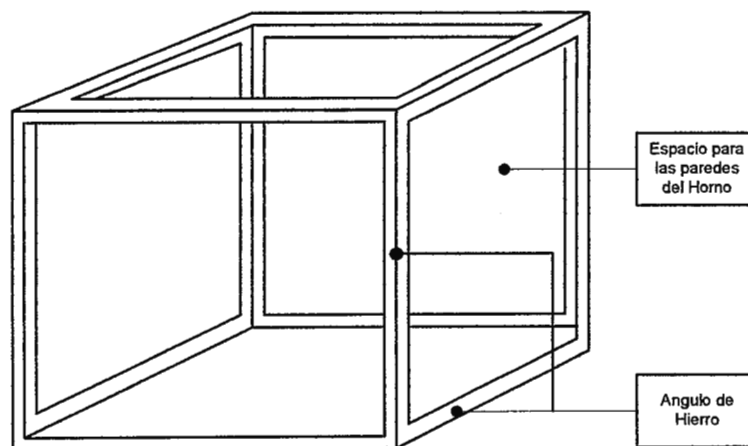


FIGURA 10.1: Esquema de la Estructura Metálica del Horno

10.2 Diseño de las paredes del Horno

Las paredes del horno desempeñan un papel muy importante dentro del funcionamiento, debido a que deben de ser herméticas y disminuir lo más que se pueda las pérdidas de calor.

Básicamente las paredes estarán formadas por los siguientes elementos:

- Fibra Cerámica
- Lámina Troquelada
- Angulo de hierro

A continuación se muestra un esquema con la configuración de las paredes del horno:

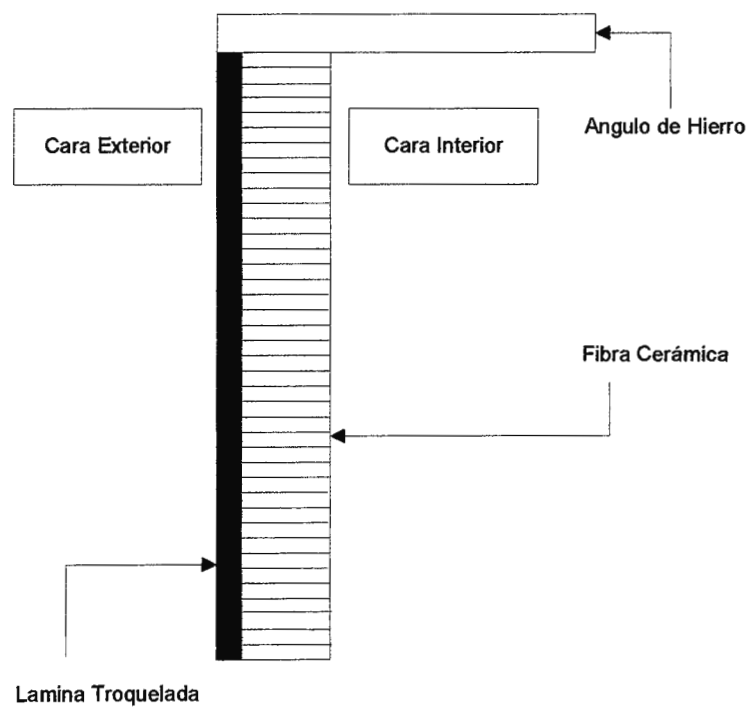


FIGURA 10.2: Esquema de la Configuración de la Pared del Horno

La función de la lámina troquelada de 3/8" No.9 será la de dar mayor rigidez al horno y a la vez poder sujetar la fibra cerámica. Esto se hará utilizando Bentosil y Aislaref, El Bentosil es un compuesto cálcico de poca dilatación térmica, químico industrial que tienen diferentes usos, como por ejemplo la estabilización de vinos. En la fabricación de hornos es utilizado como un pegamento que adhiere la fibra cerámica al Aislaref. Es importante mencionar que este químico no daña la estructura del asilamiento y resiste altas temperaturas, por tal motivo, es ideal utilizarlo como pegamento.

En la siguiente tabla se muestra la composición química del Bentosil:

COMPUESTO	PORCENTAJE
SiO ₂	68.8%
Al ₂ O ₃	13.3%
Fe ₂ O ₃	1.3%
CaO	4.7%
MgO	2.3%
Na ₂ O	1.6%
K ₂ O	0.3%
Pérdidas por Calcinación	7.7%

Fuente: Análisis Químico típico del Bentosil (Refractarios Mexicanos, Fax)

El Aislaref es un concreto refractario cuyos componentes principales son: Oxido de Sílice (SiO₂), Caolín Calcinado (3Al₂O₃ + 2SiO₂) la función de este material será la de sostener la fibra cerámica.

La fibra cerámica será la encargada de disminuir las pérdidas por calor que se dan en el horno, para esto es necesario determinar un espesor óptimo con el cual tengamos un equilibrio entre pérdidas por calor y costo.

Para esto se hace un análisis de transferencia de calor asumiendo distintos valores de espesor de fibra cerámica, luego se calculan los costos de estas pérdidas y se comparan para los distintos valores de espesores asumidos, así tomando como base la comparación de costos y la cantidad de pérdidas se selecciona el espesor óptimo de la fibra cerámica.

Otro aspecto a mencionar es que se hace un análisis para un horno de forma cúbica y otro para uno de forma rectangular debido a que ambas formas se toman en cuenta para el desarrollo del software de simulación del diseño.

Tomando en cuenta lo anterior las pérdidas a determinar por los gases calientes de la combustión son:

- Por Conducción
- Por Convección

Es de importancia mencionar que este análisis se hace con el propósito de encontrar el espesor óptimo basándose en la cantidad de pérdidas de calor y el costo que estas generan. Más adelante en la sección 12 se presenta un análisis para estado transitorio y estado permanente, el cual toma en cuenta el funcionamiento del horno.

10.2.1 Análisis de Transferencia de Calor para un Horno de Forma Cúbica

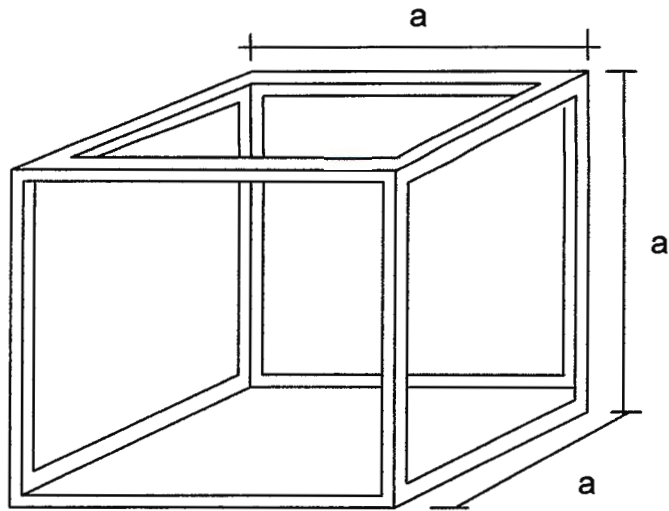


FIGURA 10.3: Esquema de un Horno de Forma Cúbica

10.2.1.1 Pérdidas de Calor por Conducción

El horno tiene las siguientes características:

- Volumen: 1 m^3
- Dimensiones: 1 m

Fibra Cerámica SAFFIL[®] ALUMINA LD MAT:

- $K = 2.7403 \times 10^{-4} \text{ KW/m.}^\circ\text{C}$ ($1.90 \text{ Btu.in/h.ft}^2.^\circ\text{F}$)
- Espesor: 88.9 mm ($3.5''$)

Nota: Datos Obtenidos del anexo 7

Ladrillo Refractario:

- $K = 4.50 \times 10^{-4} \text{ KW/m.}^\circ\text{C}$ ($3.12 \text{ Btu.in/h.ft}^2.^\circ\text{F}$)
- Espesor: 63.5 mm ($2.5''$)

Nota: Datos Obtenidos de OXGASA y anexo 6

Lámina Troquelada:

Para determinar las características se asume que la lámina está hecha de acero al carbon 0.5%, así del se obtiene:

- $K = 0.55 \text{ KW/m} \cdot ^\circ\text{C}$ ($381.34 \text{ Btu.in/h.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$)
- Espesor: 9.525 mm ($3/8''$)

La temperatura en el interior del horno será de $1,250 \text{ }^\circ\text{C}$ ($2,282^\circ\text{F}$)

La temperatura en la lámina exterior del horno será de $50 \text{ }^\circ\text{C}$ (122°F)

De la ecuación 7.8 (página 60) tenemos:

$$q = Sk(T_h - T_c)$$

En donde:

S: es el factor de forma.

k: la conductividad térmica del material.

T_h : temperatura interior o temperatura alta.

T_c : temperatura exterior o temperatura baja.

Determinado los factores de forma S para las paredes, los vértices (L), y las aristas (D), aisladas con fibra cerámica son:

Factor de forma para las paredes:

$$S_1 = \frac{A_1}{L_{pt}} = \frac{1 \times 1}{0.0889} = 11.25m$$

Donde L_{PT} es el espesor de la fibra cerámica

Factor de forma para los vértices

$$S_{vertical} = 0.15L_{pt} = 0.15(0.0889) = 0.0133m$$

Factor de forma de las aristas (Bordes)

$$S_{arista1} = 0.54D = 0.54(1) = 0.54m$$

Donde D es la longitud del vértice

El factor de forma de las superficies aisladas con fibra cerámica es:

$$S_{total} = 5S_1 + 4S_{vertice1} + 8S_{arista1}$$

$$S_{total} = 5(11.25) + 4(0.0133) + 8(0.54)$$

$$S_{total} = 60.62m$$

Las pérdidas de calor en las paredes y techo del horno son:

$$q_{paredesytecho} = S_{total}k_f(T_h - T_c)$$

$$q_{paredesytecho} = 60.62(2.7403 \times 10^{-4})(1250 - 50)$$

$$q_{paredesytecho} = 19.93KW \left(68,017.76 \frac{Btu}{h}\right)$$

Determinación de los factores de forma S para el piso, los vértices (L) y las aristas (D). El piso está formado por fibra cerámica y ladrillo refractario donde ambos forman un espesor de 0.1016 (4"), el cual la fibra tiene un espesor de 0.0381m (1.5") y el ladrillo 0.0635m (2.5")

Factor de forma para el piso

$$S_2 = \frac{A_2}{L_p} = \frac{1 \times 1}{0.1016} = 9.84m$$

Factor de forma para los vértices

$$S_{vertice2} = 0.15L_p = 0.15(0.1016) = 0.0152m$$

Factor de forma para las aristas

$$S_{arista2} = 0.54D = 0.54(1) = 0.54m$$

El factor de forma del piso total es:

$$S_{total} = S_2 + 4S_{vertice2} + 4S_{arista2}$$

$$S_{total} = 9.84 + 4(0.0152) + 4(0.54)$$

$$S_{total} = 12.06m$$

Para tomar la conductividad térmica del material compuesto del piso es necesario hacer un análisis equivalente, análogo al análisis cuando se tienen resistencias en paralelo en un circuito eléctrico, este análisis se presenta a continuación.

La resistencia térmica equivalente para la pared compuesta del piso se calcula de la siguiente manera:

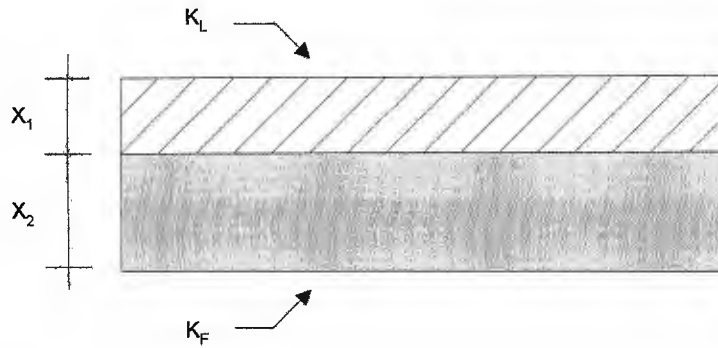
$$R_{te} = \frac{x_1}{k_1} + \frac{x_2}{k_2}$$

En donde:

R_{te} : Resistencia térmica equivalente del material compuesto.

x_1, x_2 : Espesores de cada material.

k_1, k_2 : Conductividad térmica de cada material.



$$R_{te} = \frac{L_{pt}}{k_f} + \frac{L_p}{k_l} = \frac{0.0381}{2.7403 \times 10^{-4}} + \frac{0.0635}{4.50 \times 10^{-4}}$$

$$R_{te} = 280.15 \frac{m \cdot ^\circ C}{KW}$$

La determinación de la conductividad térmica del material compuesto se hace basándose en el espesor y la resistencia térmica, es decir:

$$k_{material\ compuesto} = \frac{x_{material\ compuesto}}{R_{te}}$$

$$k_{material\ compuesto} = \frac{0.1016}{280.15}$$

$$k_{material\ compuesto} = 3.6267 \times 10^{-4} \frac{KW}{m \cdot ^\circ C}$$

$$q_{piso} = S_{total} k_{material\ compuesto} (T_h - T_c)$$

$$q_{piso} = 12.06 (3.6267 \times 10^{-4}) (1250 - 50)$$

$$q_{piso} = 5.25 KW (17,908.67 \frac{Btu}{h})$$

Las pérdidas de calor por conducción resultan de la suma de las pérdidas de calor en las paredes más las perdidas en el techo.

$$q_{conduccion} = q_{paredestecho} + q_{piso}$$

$$q_{conduccion} = 19.93 + 5.25$$

$$q_{conduccion} = 25.18KW \left(85,926.43 \frac{Btu}{h} \right)$$

10.2.1.2 Pérdidas de Calor por Convección

$$q = hA(T_w - T_\infty)$$

En donde:

h: coeficiente de transferencia de calor por convección.

T_w : temperatura externa del horno: 50°C (122°F)

T_∞ : temperatura ambiente: 21°C (69.80°F)

Se asume el valor de 50°C porque es la superficie del horno (lámina) no se desea una temperatura elevada por razones de seguridad. El valor del coeficiente de transferencia de calor por convección dependerá de la posición de las paredes del horno.

- Paredes verticales.

Las paredes verticales exteriores del horno poseen las siguientes dimensiones

$$Ancho_1 = D + 2L_{pt} = 1 + 2(0.0889) = 1.18m$$

$$Alto_1 = D + L_{pt} + L_p = 1 + 0.0889 + 0.1016 = 1.19m$$

$$Area_1 = A_1 = Ancho_1 \times Alto_1 = 1.18(1.19) = 1.40m^2$$

Para determinar el coeficiente de calor por convección según la tabla del Anexo 4c, es necesario conocer el tipo de flujo del horno (Laminar o Turbulento), para ello se calculará el número de Grashof (G_{rf}) que multiplicado por el número de Prandtl (P_r) se encuentra la separación entre flujo laminar y turbulento.

Si la multiplicación de $G_{rf}P_r$ es menor que 1×10^6 , el flujo se considera laminar; pero si la multiplicación $G_{rf}P_r$ es mayor que 1×10^6 , el flujo se considera turbulento.

El número de Grashof se calcula de la siguiente forma:

$$G_{rf} = \frac{g\beta(T_w - T_\infty)x^3}{\nu^2}$$

En donde:

g : la gravedad en m/s^2 .

β : coeficiente volumétrico de expansión [$1/K$].

T_w : temperatura en el exterior del horno [$^\circ C$].

T_∞ : temperatura ambiente a la cual esta expuesto el horno [$^\circ C$].

x : valor medio del ancho y alto [m].

ν : viscosidad cinemática [m/s^2].

$$T_f = \frac{T_w + T_\infty}{2} = \frac{294.15K + 323.15K}{2} = 308.65K$$

$$\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{308.15} = 3.24 \times 10^{-3} K^{-1}$$

$$x = \frac{Ancho_1 + Alto_1}{2} = \frac{1.18 + 1.19}{2} = 1.185m$$

Del Anexo 4b interpolando a la temperatura T_f se encuentra la viscosidad cinemática y el valor del número de Prandtl.

$$\nu = 17.9494 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$P_r = 0.704887$$

$$G_{rf} = \frac{9.81(3.24 \times 10^{-3})(50 - 21)(1.1841)^3}{(17.9494 \times 10^{-6})^2}$$

$$G_{rf} = 2.87 \times 10^6$$

$$G_{rf}P_r = 2.87 \times 10^6 (0.704887)$$

$$G_{rf}P_r = 2.04 \times 10^6$$

Como el producto $G_{rf}P_r$ es mayor que 1×10^6 , entonces se dice que el flujo que está en las paredes verticales es turbulento, ocupando la tabla del Anexo 4c tenemos:

$$h = 1.31(\Delta T)^{1/3}$$

$$h_1 = 1.31(50 - 21)^{1/3}$$

$$h_1 = 1.31(29)^{1/3}$$

$$h_1 = 4.0247 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

Con los parámetros encontrados, se puede calcular las pérdidas de calor para las paredes verticales.

$$q_{\text{paredes verticales}} = h_1 A_1 (T_w - T_\infty)$$

$$q_{\text{paredes verticales}} = 4.0247(1.40)(50 - 21)$$

$$q_{\text{paredes verticales}} = 0.16 \text{KW} \left(557.56 \frac{\text{Btu}}{\text{h}} \right)$$

- Placa caliente hacia arriba

El techo del horno posee las siguientes dimensiones:

$$\text{Ancho}_2 = D + 2L_{pt} = 1 + 2(0.0889) = 1.18 \text{m}$$

$$\text{Largo}_2 = D + 2L_{pt} = 1 + 2(0.0889) = 1.18 \text{m}$$

$$\text{Area}_2 = A_2 = \text{Ancho}_2 \times \text{Largo}_2 = (1.18)(1.18) = 1.39 \text{m}^2$$

De igual manera es necesario conocer el tipo de flujo

$$T_f = \frac{T_w + T_\infty}{2} = \frac{294.15 \text{K} + 323.15 \text{K}}{2} = 308.65 \text{K}$$

$$\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{308.65} = 3.24 \times 10^{-3} \text{K}^{-1}$$

$$x = \frac{\text{Ancho}_2 + \text{Largo}_2}{2} = \frac{1.18 + 1.18}{2} = 1.18 \text{m}$$

Del Anexo 4b interpolando a la temperatura T_f se encuentra la viscosidad cinemática y el valor del número de Prandtl.

$$\nu = 17.9494 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$P_r = 0.704887$$

$$G_{rf} = \frac{9.81(3.24 \times 10^{-3})(50 - 21)(1.1778)^3}{(17.9494 \times 10^{-6})^2}$$

$$G_{rf} = 2.85 \times 10^6$$

$$G_{rf}P_r = 2.85 \times 10^6 (0.704887)$$

$$G_{rf}P_r = 2.01 \times 10^6$$

Como el producto $G_{rf}P_r$ es mayor que 1×10^6 , entonces se dice que el flujo es turbulento, ocupando la tabla del Anexo 4c tenemos:

$$h = 1.52(\Delta T)^{1/3}$$

$$h_2 = 1.52(50 - 21)^{1/3}$$

$$h_2 = 1.52(29)^{1/3}$$

$$h_2 = 4.67 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

Con los parámetros encontrados, se puede calcular las pérdidas de calor para el techo.

$$q_{techo} = h_1 A_1 (T_w - T_\infty)$$

$$q_{techo} = 4.67(1.39)(50 - 21)$$

$$q_{techo} = 0.19KW \left(648.26 \frac{Btu}{h}\right)$$

- Placa caliente hacia abajo

El piso del horno posee las siguientes dimensiones:

$$Larg o_3 = D + 2L_{pt} = 1 + 2(0.0889) = 1.18m$$

$$Ancho_3 = D + 2L_{pt} = 1 + 2(0.0889) = 1.18m$$

$$Area_3 = A_3 = Ancho_3 \times Larg o_3 = (1.18)(1.18) = 1.39m^2$$

El coeficiente de transferencia de calor por convección para el caso del piso según el Anexo 4c se utiliza para flujo laminar o turbulento la ecuación:

$$h_3 = 0.59 \left(\frac{\Delta T}{L} \right)^{1/4}$$

En donde:

L: es la longitud media entre el largo y el ancho [m].

$$h_3 = 0.59 \left(\frac{50 - 21}{1.1778} \right)^{1/4}$$

$$h_3 = 0.59 \left(\frac{29}{1.1778} \right)^{1/4}$$

$$h_3 = 1.31 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

Encontrado el coeficiente de calor por convección, se encuentra el calor en el piso

$$q_{piso} = h_3 A_3 (T_w - T_\infty)$$

$$q_{piso} = 1.31(1.39)(50 - 21)$$

$$q_{piso} = 0.053 KW (108.84 \frac{Btu}{h})$$

Las pérdidas por convección son la suma de las pérdidas en las paredes, techo y piso.

$$q_{conveccion} = 4q_{paredesverticales} + q_{techo} + q_{piso}$$

$$q_{conveccion} = 4(0.16) + 0.19 + 0.053$$

$$q_{conveccion} = 0.88 KW (3,002.69 \frac{Btu}{h})$$

10.2.2 Análisis de Transferencia de Calor para un Horno Rectangular

Para el análisis del horno en forma rectangular se parte del hecho que:

$$a=1\text{m}$$

b= Igual al volumen que se seleccione, por ejemplo si:

$$V=2\text{m}^3$$

$$a=1\text{m}$$

$$b=2\text{m}$$

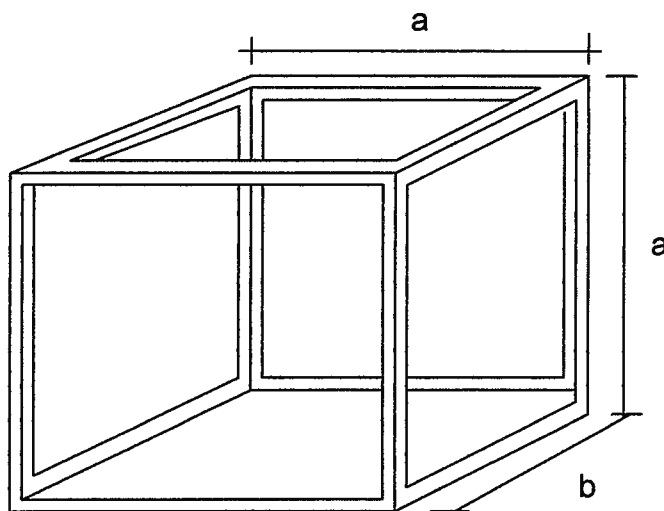


FIGURA 10.4: Esquema de un Horno con Forma Rectangular

Se toma el caso en que $V=1\text{m}^3$, esto hace que el horno se convierta en uno en forma cúbica, se hace esto para demostrar la congruencia entre ambos análisis.

Las características del horno se definen como:

- $V=1\text{m}^3$
- $a=1\text{m}$
- $b=1\text{m}$

Se mantienen las mismas características para la fibra cerámica, ladrillo refractario y la lámina.

10.2.2 Análisis de Transferencia de Calor para un Horno Rectangular

Para el análisis del horno en forma rectangular se parte del hecho que:

$a=1\text{m}$

$b=$ Igual al volumen que se seleccione, por ejemplo si:

$$V=2\text{m}^3$$

$$a=1\text{m}$$

$$b=2\text{m}$$

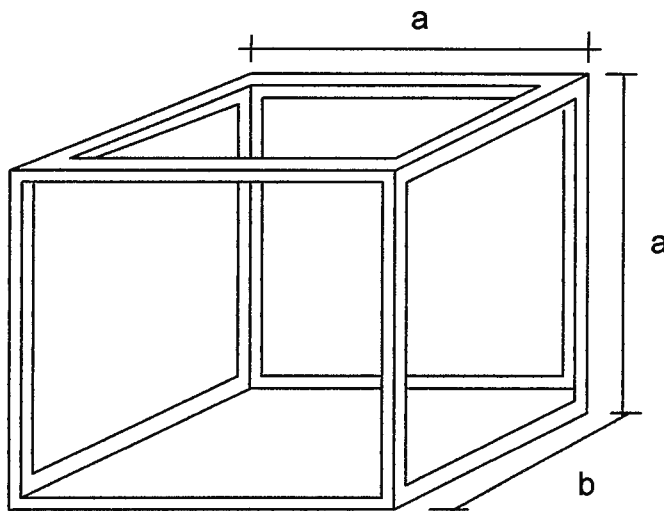


FIGURA 10.4: Esquema de un Horno con Forma Rectangular

Se toma el caso en que $V=1\text{m}^3$, esto hace que el horno se convierta en uno en forma cúbica, se hace esto para demostrar la congruencia entre ambos análisis.

Las características del horno se definen como:

- $V=1\text{m}^3$
- $a=1\text{m}$
- $b=1\text{m}$

Se mantienen las mismas características para la fibra cerámica, ladrillo refractario y la lámina.

10.2.2.1 Pérdidas de Calor por Conducción

De la ecuación 7.8 (página 60) tenemos:

$$q = Sk(T_h - T_c)$$

En donde:

S: es el factor de forma.

k: la conductividad térmica del material.

T_h: temperatura interior o temperatura alta.

T_c: temperatura exterior o temperatura baja.

Determinado los factores de forma S para las paredes, los vértices (L), y las aristas (D), aisladas con una fibra cerámica son:

Factor de forma para las paredes:

$$S_{\text{paredes verticales axa}} = \frac{A_1}{L_{pt}} = \frac{a \times a}{L_{pt}} = \frac{1 \times 1}{0.0889} = 11.25m$$

$$S_{\text{paredes verticales axb}} = \frac{A_2}{L_{pt}} = \frac{a \times b}{L_{pt}} = \frac{1 \times 1}{0.0889} = 11.25m$$

$$S_{\text{techo axb}} = \frac{A_2}{L_{pt}} = \frac{a \times b}{L_{pt}} = \frac{1 \times 1}{0.0889} = 11.25m$$

Factor de forma para los vértices

$$S_{\text{vertice l}} = 0.15L_{pt} = 0.15(0.0889) = 0.0133m$$

Factor de forma de las aristas

$$S_{arista\ a} = 0.54a = 0.54(1) = 0.54m$$

$$S_{arista\ b} = 0.54b = 0.54(1) = 0.54m$$

El factor de forma de las superficies aisladas con fibra cerámica es:

$$S_{total} = 2S_{paredesverticalesaxa} + 2S_{paredesverticalesaxb} + S_{techoaxb} + 4S_{vertice1} + 6S_{arista\ a} + 2S_{arista\ b}$$

$$S_{total} = 2(11.25) + 2(11.25) + 11.25 + 4(0.0133) + 6(0.54) + 2(0.54)$$

$$S_{total} = 60.62m$$

Las perdidas de calor en las paredes y techo del horno son:

$$q_{paredesytecho} = S_{total}k_f(T_h - T_c)$$

$$q_{paredesytecho} = 60.62(2.7403 \times 10^{-4})(1250 - 50)$$

$$q_{paredesytecho} = 19.93KW(68,017.76 \frac{Btu}{h})$$

Determinación de los factores de forma S para el piso, los vértices (L) y las aristas (D).

Factor de forma para el piso

$$S_{pisoaxb} = \frac{A_{pisoaxb}}{L_p} = \frac{1 \times 1}{0.1016} = 9.84m$$

Factor de forma para los vértices

$$S_{vertice2} = 0.15L_p = 0.15(0.1016) = 0.0152m$$

Factor de forma para las aristas

$$S_{arista\ a} = 0.54a = 0.54(1) = 0.54m$$

$$S_{arista\ b} = 0.54b = 0.54(1) = 0.54m$$

El factor de forma del piso total es:

$$S_{total} = S_{pisoaxb} + 4S_{vertice2} + 2S_{arista\ a} + 2S_{arista\ b}$$

$$S_{total} = 9.84 + 4(0.0152) + 2(0.54) + 2(0.54)$$

$$S_{total} = 12.06m$$

Para tomar la conductividad térmica del material compuesto del piso es necesario hacer un análisis equivalente, análogo al análisis cuando se tienen resistencias en paralelo en un circuito eléctrico, este análisis se presenta a continuación.

La resistencia térmica equivalente para la pared compuesta del piso se calcula de la siguiente manera:

$$R_{te} = \frac{x_1}{k_1} + \frac{x_2}{k_2}$$

En donde:

R_{te} : resistencia térmica equivalente del material compuesto.

X_1, X_2 : Representan los espesores de cada material.

k_1, k_2 : Representan los valores de la conductividad térmica de cada material.

$$R_{te} = \frac{L_{pf}}{k_f} + \frac{L_p}{k_i} = \frac{0.0381}{2.7403 \times 10^{-4}} + \frac{0.0635}{4.50 \times 10^{-4}} = 280.15 \frac{m \cdot ^\circ C}{KW}$$

La determinación de la conductividad térmica del material compuesto se hace basándose en el espesor y la resistencia térmica, es decir:

$$k_{\text{material compuesto}} = \frac{x_{\text{material compuesto}}}{R_{te}}$$

$$k_{\text{material compuesto}} = \frac{0.1016}{280.15}$$

$$k_{\text{material compuesto}} = 3.6267 \times 10^{-4} \frac{KW}{m \cdot ^\circ C}$$

$$q_{\text{piso}} = S_{\text{total}} k_{\text{material compuesto}} (T_h - T_c)$$

$$q_{\text{piso}} = 12.06(3.6267 \times 10^{-4})(1250 - 50)$$

$$q_{\text{piso}} = 5.25 KW \left(17,908.67 \frac{Btu}{h} \right)$$

Las pérdidas de calor por conducción resultan de la suma de las pérdidas de calor en las paredes más las pérdidas en el techo.

$$q_{\text{conduccion}} = q_{\text{paredesy techo}} + q_{\text{piso}}$$

$$q_{\text{conduccion}} = 19.93 + 5.25$$

$$q_{\text{conduccion}} = 25.18 KW \left(85,926.43 \frac{Btu}{h} \right)$$

10.2.2.2 Pérdidas de Calor por Convección

$$q = hA(T_w - T_\infty)$$

En donde:

h : coeficiente de transferencia de calor por convección.

T_w : temperatura externa del horno: 50°C (122°F)

T_∞ : temperatura ambiente: 21°C (69.80°F)

El valor del coeficiente de transferencia de calor por convección dependerá de la posición de las paredes del horno.

- Paredes verticales.

Las paredes verticales exteriores del horno ($a \times a$) poseen las siguientes dimensiones

$$Ancho_{axa} = a + 2L_{pt} = 1 + 2(0.0889) = 1.18m$$

$$Alto_{axa} = a + L_{pt} + L_p = 1 + 0.0889 + 0.1016 = 1.19m$$

$$Area_{axa} = A_{axa} = Ancho_{axa} \times Alto_{axa} = (1.18)(1.19) = 1.40m^2$$

Encontrando nuevamente el tipo flujo:

$$T_f = \frac{T_w + T_\infty}{2} = \frac{294.15K + 323.15K}{2} = 308.65K$$

$$\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{308.65} = 3.24 \times 10^{-3} K^{-1}$$

$$x = \frac{Ancho_{axa} + Alto_{axa}}{2} = \frac{1.18 + 1.19}{2} = 1.185m$$

Del Anexo 4b interpolando a la temperatura T_f se encuentra la viscosidad cinemática y el valor del número de Prandtl.

$$\nu = 17.9494 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$P_r = 0.704887$$

$$G_{rf} = \frac{9.81(3.24 \times 10^{-3})(50 - 21)(1.1841)^3}{(17.9494 \times 10^{-6})^2}$$

$$G_{rf} = 2.87 \times 10^6$$

$$G_{rf}P_r = 2.87 \times 10^6 (0.704887)$$

$$G_{rf}P_r = 2.04 \times 10^6$$

Como el producto $G_{rf}P_r$ es mayor que 1×10^6 , entonces se dice que el flujo que esta en las paredes verticales es turbulento, ocupando la tabla del Anexo 4c tenemos:

$$h = 1.31(\Delta T)^{1/3}$$

$$h_{axa} = 1.31(50 - 21)^{1/3}$$

$$h_{axa} = 1.31(29)^{1/3}$$

$$h_{axa} = 4.0247 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

Con los parámetros encontrados, se puede calcular las pérdidas de calor para las paredes verticales.

$$q_{\text{paredes verticales axa}} = h_1 A_1 (T_w - T_\infty)$$

$$q_{\text{paredes verticales axa}} = 4.0247(1.40)(50 - 21)$$

$$q_{\text{paredes verticales axa}} = 0.16 \text{KW} \left(557.56 \frac{\text{Btu}}{\text{h}} \right)$$

Las paredes verticales exteriores del horno (a x b) poseen las siguientes dimensiones

$$\text{Largo}_{\text{axb}} = b + 2L_{pt} = 1 + 2(0.0889) = 1.18m$$

$$\text{Alto}_{\text{axb}} = a + L_{pt} + L_p = 1 + 0.0889 + 0.1016 = 1.19m$$

$$\text{Area}_{\text{axb}} = A_{\text{axb}} = \text{Largo}_{\text{axb}} \times \text{Alto}_{\text{axb}} = (1.18)(1.19) = 1.40m^2$$

Nuevamente encontrando el tipo de flujo:

$$T_f = \frac{T_w + T_\infty}{2} = \frac{294.15K + 323.15K}{2} = 308.65K$$

$$\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{308.65} = 3.24 \times 10^{-3} K^{-1}$$

$$x = \frac{\text{Largo}_{\text{axb}} + \text{Alto}_{\text{axb}}}{2} = \frac{1.18 + 1.19}{2} = 1.185m$$

Del anexo 4b interpolando a la temperatura T_f se encuentra la viscosidad cinemática y el valor del número de Prandtl.

$$\nu = 17.9494 \times 10^{-6} \text{ m/s}^2$$

$$P_r = 0.704887$$

$$G_{rf} = \frac{9.81(3.24 \times 10^{-3})(50 - 21)(1.1841)^3}{(17.9494 \times 10^{-6})^2}$$

$$G_{rf} = 2.87 \times 10^6$$

$$G_{rf}P_r = 2.87 \times 10^6 (0.704887)$$

$$G_{rf}P_r = 2.04 \times 10^6$$

Como el producto $G_{rf}P_r$ es mayor que 1×10^6 , entonces se dice que el flujo que esta en las paredes verticales es turbulento, ocupando la tabla del Anexo 4c tenemos:

$$h = 1.31(\Delta T)^{1/3}$$

$$h_{axb} = 1.31(50 - 21)^{1/3}$$

$$h_{axb} = 1.31(29)^{1/3}$$

$$h_{axb} = 4.0247 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

Con los parámetros encontrados, se puede calcular las perdidas de calor para las paredes verticales.

$$q_{\text{paredes verticales } axb} = h_{axb} A_{axb} (T_w - T_\infty)$$

$$q_{\text{paredes verticales } axb} = 4.0247(1.40)(50 - 21)$$

$$q_{\text{paredes verticales } axb} = 0.16KW \left(557.56 \frac{Btu}{h} \right)$$

- Placa caliente hacia arriba

El techo del horno posee las siguientes dimensiones:

$$\text{Ancho}_{axb} = a + 2L_{pt} = 1 + 2(0.0889) = 1.18m$$

$$\text{Largo}_{axb} = D + 2L_{pt} = 1 + 2(0.0889) = 1.18m$$

$$\text{Area}_{axb} = A_{axb} = \text{Ancho}_{axb} \times \text{Largo}_{axb} = (1.18)(1.18) = 1.39m^2$$

Encontrando el tipo de flujo:

$$T_f = \frac{T_w + T_\infty}{2} = \frac{294.15K + 323.15K}{2} = 308.65K$$

$$\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{308.15} = 3.24 \times 10^{-3} K^{-1}$$

$$x = \frac{\text{Ancho}_{axb} + \text{Largo}_{axb}}{2} = \frac{1.18 + 1.18}{2} = 1.18m$$

Del Anexo 4b interpolando a la temperatura T_f se encuentra la viscosidad cinemática y el valor del número de Prandtl.

$$\nu = 17.9494 \times 10^{-6} \text{ m/s}^2$$

$$P_r = 0.704887$$

$$G_{rf} = \frac{9.81(3.24 \times 10^{-3})(50 - 21)(1.1778)^3}{(17.9494 \times 10^{-6})^2}$$

$$G_{rf} = 2.85 \times 10^6$$

$$G_{rf} P_r = 2.01 \times 10^6$$

Como el producto $G_{rf} P_r$ es mayor que 1×10^6 , entonces se dice que el flujo que esta en las paredes verticales es turbulento, ocupando la tabla del Anexo 4c tenemos:

$$h = 1.52(\Delta T)^{1/3}$$

$$h_{axb} = 1.52(29)^{1/3}$$

$$h_{axb} = 1.52(50 - 21)^{1/3}$$

$$h_{axb} = 4.67 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

Con los parámetros encontrados, se puede calcular las perdidas de calor para el techo.

$$q_{techo\ axb} = h_1 A_1 (T_w - T_\infty)$$

$$q_{techo\ axb} = 4.67(1.39)(50 - 21)$$

$$q_{techo\ axb} = 0.19KW \left(648.26 \frac{Btu}{h}\right)$$

- Placa caliente hacia abajo

El piso del horno posee las siguientes dimensiones:

$$Ancho_{axb} = a + 2L_{pt} = 1 + 2(0.0889) = 1.18m$$

$$Largo_{axb} = b + 2L_{pt} = 1 + 2(0.0889) = 1.18m$$

$$Area_{axb} = A_{axb} = Ancho_{axb} \times Largo_{axb} = (1.18)(1.18) = 1.39m^2$$

El coeficiente de transferencia de calor por convección para el caso del piso no es necesario saber el tipo flujo, ya que para el cálculo se utiliza la misma ecuación.

$$h = 0.59 \left(\frac{\Delta T}{L} \right)^{1/4}$$

En donde:

L: es la longitud media entre el largo y el ancho [m].

$$h_{axb} = 0.59 \left(\frac{50 - 21}{1.1778} \right)^{1/4}$$

$$h_{axb} = 0.59 \left(\frac{29}{1.1778} \right)^{1/4}$$

$$h_{axb} = 1.31 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

Encontrado el coeficiente de calor por convección, se encuentra el calor en el piso

$$q_{piso\ axb} = h_{axb} A_{axb} (T_{\omega} - T_{\infty})$$

$$q_{piso\ axb} = 1.31(1.39)(50 - 21)$$

$$q_{piso\ axb} = 0.053KW(108.84 \frac{Btu}{h})$$

Las pérdidas por convección, son la suma de las pérdidas en las paredes, techo y piso.

$$q_{conveccion} = 2q_{paredesverticales\ axa} + 2q_{paredesverticales\ axb} + q_{techo\ axb} + q_{piso\ axb}$$

$$q_{conveccion} = 2(0.16) + 2(0.16) + 0.19 + 0.053$$

$$q_{conveccion} = 0.88KW(3,002.69 \frac{Btu}{h})$$

En la siguiente tabla se presenta un resumen de las pérdidas de calor para distintos valores de espesores para un horno cúbico:

TABLA 10.1: Pérdidas para distintos valores de espesores

ESPESOR (m)	Q_{CONDUCCION} (KW)	Q_{CONVECCION} (KW)	Q_{TOTAL} (KW)
0.0381	49.83	0.7746	50.71
0.0635	32.58	0.8340	33.41
0.0889	25.18	0.8954	21.08
0.1143	21.08	0.9588	22.04
0.1397	18.47	1.0200	19.49
0.1651	16.66	1.0917	17.75
0.1905	15.34	1.1612	16.50
0.2159	14.33	1.2327	15.56
0.2413	13.53	1.3063	14.84

Fuente: Análisis de Transferencia de Calor hecho a distintos espesores

Ahora se procede a calcular los costos que generan estas pérdidas, pero primero debemos de conocer el costo de materiales para la fabricación del horno.

Cant.	Unidad	Descripción	Precio Unitario (\$)	TOTAL (\$)
2	Rollos	Fibra Cerámica SAFFIL [®] ALUMINA LD MAT 4.6451m ² (50 pie ² cada rollo)	80.53	161.06
2	Sacos	Aislaref (20 Kg c/u)	24.50	48.98
2	Sacos	Bentosil (25 Kg c/u)	4.93	9.87
1	Flete	Flete interno Tonalá, Jalisco – C. Hidalgo	67.95	67.95
1	N/A	Pago Honorarios Agente Aduanal	51.43	51.43
1	N/A	Trámites Registro abordó	57.14	57.14
1	N/A	Pago de Póliza	51.34	51.34
1	N/A	Pago honorarios en México	200	200
1	N/A	Flete C. Hidalgo	102.86	102.86
6	Piezas	Angulo de Hierro de 1" x 1/8"	4.46	26.74
3	Pliegos	Lámina de hierro troquelada 3/8" No. 9	57.14	171.42
36	Unidad	Ladrillo aislante	3.43	123.43
1	Bolsa	Cemento refractario (100 lb)	68.57	68.57
1	N/A	Otros Gastos	77	77
TABLA 10.2: Costos de Materiales para la Fabricación del Horno				1217.79

Es importante mencionar que la tabla anterior indica el costo inicial de la construcción del horno para un espesor de 0.0889m, si por algún motivo se desea variar el espesor la diferencia radica en la cantidad de cajas de fibra cerámica que se comprarían.

A continuación tomando en cuenta que el galón de gas propano cuesta \$0.87 el costo anual de pérdidas por calor para un espesor de 0.0889m es:

La densidad de la mezcla de combustible (ρ_m) es:

$$\rho_m = \psi_a \rho_a + \psi_b \rho_b + \dots\dots\dots$$

$$\rho_m = (4.24)(0.7) + (4.81)(0.3) = 4.41 \frac{lb}{gal} \quad (\text{NOTA: REFIERASE AL ANEXO 8})$$

$$88988.65 \frac{Btu}{h} \times 7 \frac{h}{día} \times 8 \frac{días}{mes} \times 12 \frac{meses}{año} \times \frac{(1.7234 \frac{colones.gal}{lb})}{(21456.99 \frac{Btu}{lb})} = 4803.1 = \$548.92$$

En la siguiente tabla se muestra un resumen del costo anual de las pérdidas por calor para diferentes espesores:

ESPESOR (m)	Q _{total} (KW)	COSTO (\$)
0.0381	50.61	1065.23
0.0635	33.41	703.21
0.0889	26.08	548.92
0.1143	22.04	463.89
0.1397	19.49	410.22
0.1651	17.75	373.60
0.1905	16.50	347.29
0.2159	15.56	327.50
0.2413	14.84	312.35

Fuente: Análisis de Costos hecho para distintos espesores

Suponiendo que la vida útil del horno es de 20 años y que una empresa promedio tiene un factor de rendimiento anual del 20%, entonces el costo anual de recuperación de capital y el costo anual total para un horno de 0.0889m de espesor se calcula como:

$$CR = 1217.79 \times_{0.20-20} crf^{0.20536}$$

$$CR = 1217.79 \times 0.20536$$

$$CR = 250.09$$

$$CR_{total} = 250.09 + 548.93 = \$799.02$$

A continuación se presenta una tabla resumiendo el análisis de costos:

Espesor (m)	Q_{TOTAL} (KW)	Costo Inicial (\$)	Pérdida anual de calor (\$)	Costo anual de Recuperación (\$)	Costo Anual Total (\$)
0.0381	50.61	946.21	1065.23	194.31	1259.54
0.0635	33.41	1090.74	703.21	224.00	927.21
0.0889	26.08	1217.79	548.93	250.09	799.02
0.1143	22.04	1561.58	463.89	315.90	779.79
0.1397	19.49	1799.04	410.22	369.45	779.67
0.1651	17.75	1956.47	373.60	401.78	775.38
0.1905	16.50	2084.02	347.29	427.98	775.24
0.2159	15.56	2171.98	327.50	446.95	774.00
0.2413	14.84	2256.53	312.35	463.40	775.75

Analizando la tabla se puede observar que el costo anual más bajo es para un espesor de 0.0889m, debido a eso se elige este valor como el espesor óptimo.

10.3 Determinación de los Sistemas de Alimentación y Operación del Horno

El horno estará compuesto por 2 sistemas independientes:

1. Sistema de Alimentación
2. Sistema de Operación

Cada uno tiene sus propias características que se detallan a continuación:

10.3.1 Sistema de Alimentación

Este sistema será el encargado de proporcionar el gas (combustible) al horno, está compuesto por los siguientes elementos:

- 2 Cilindros de 100 lbs
- 1 Regulador de 100 lbs
- 2 Pig. Tail de una cabeza
- 1 Tee Check
- 20 tubos de cobre de 3/8"
- 2 tuercas de cobre 3/8"
- 2 Bushing de cobre 3/8" x 3/8"
- 2 Bushing de cobre de 1/2" x 3/8"
- 1 válvula RW de 1/2"

Es importante mencionar que este sistema es proporcionado por la empresa TROPIGAS S.A.

10.3.2 Sistema de Operación

El sistema de operación del horno es el encargado del funcionamiento y monitoreo del mismo, está compuesto por:

- Quemadores
- Controlador de llama
- Detector de llama
- Controlador de Temperatura
- Tablero de comandos

El sistema de operación es proporcionado en conjunto por la empresa MEGA S.A. división mexicana. Refiérase al Anexo 8 para características de este sistema.

Para tener el diseño completo del horno hace falta determinar las dimensiones de la chimenea y el número de quemadores del horno. Como se dijo en la sección 9.2 el tipo de chimenea será de tiro invertido, es decir con la salida de los gases en la parte inferior del horno, para determinar las dimensiones referirse a la Tabla 6.2 (página 35) donde aparecen las dimensiones críticas de este tipo de chimenea, según esta tabla para un volumen de 30 ft^3 y seis quemadores, la sección transversal de la chimenea será de $9" \times 9"$ con una altura aproximada de 20ft (6.09m).

Con respecto a los quemadores, como se dijo, tendrá 6 esto es para que proporcionen una temperatura interior más uniforme que uno o dos de mayor tamaño.

11.0 DETERMINACION DEL COSTO DEL DISEÑO DEL HORNO

Los costos a determinar son:

- Costos de Construcción
- Costos de Equipos y Accesorios

11.1 Costos de Construcción

Son los que se refieren a los materiales y otros servicios que se necesitan para la construcción del horno. Se detallan a continuación:

ITEM	\$
Materiales (según Tabla)	1,217.79
Imprevistos	171.43
TOTAL	1,389.22

11.2 Costos de Equipos y Accesorios

Son los que se refieren al sistema de alimentación y operación del horno. Se detallan a continuación:

ITEM	\$
Sistema de Alimentación	149.28
Sistema de Operación	1,700
Carga de Combustible	173.71
TOTAL	2,022.99

Tomando en cuenta las tablas anteriores, el costo total del horno asciende a: **\$3,412.21.**

Nota: Es necesario mencionar que no se tomó en cuenta el costo de la mano de obra debido a que recordemos que el documento tiene como objetivo servir como una herramienta para una futura construcción, quedando por parte del interesado la facilidad de adecuar la construcción a sus necesidades.

12.0 ANALISIS DEL FUNCIONAMIENTO DEL HORNO

Esta sección va orientada a demostrar que el diseño propuesto es confiable debido a que por falta de construcción se analizará el horno para detallar su comportamiento. Para esto se comienza con un análisis de los esfuerzos que se producen en las piezas cerámicas, pasando por un análisis de transferencia de calor en estado transitorio y estacionario, para poder conocer la potencia real que demanda el horno y su distribución de temperatura.

12.1 Análisis de los Esfuerzos Producidos en las Pastas Cerámicas

Es importante recordar, que el diseño del horno debe ser aquel, que posea el incremento gradual de temperatura adecuado, de manera tal, que las transformaciones alotrópicas de la pasta se desarrollen lentamente.

Como se sabe, la cerámica tradicional posee tres componentes: arcilla, sílice y feldespato; dentro de estos componentes el elemento que tiene mayor porcentaje de contenido es la alúmina (Al_2O_3) es por esta razón, que para obtener incrementos de temperatura en lapsos de tiempo adecuados, necesitamos saber el comportamiento de la Alúmina respecto de ellos, y observar si los esfuerzos provocados en ésta se encuentran dentro del límite permitido por la naturaleza del material.

Para analizar los esfuerzos en dicho elemento se utilizarán las siguientes ecuaciones:

(a) $e = \alpha \Delta T$; donde:

$e \rightarrow$ Deformación unitaria.

$\alpha \rightarrow$ Coeficiente de expansión lineal, que es función del material.

$\Delta T \rightarrow$ Incremento de temperatura en un rango de tiempo establecido.

(b) $\sigma = E e$; donde:

$\sigma \rightarrow$ Esfuerzo.

$E \rightarrow$ Módulo de elasticidad del material.

$e \rightarrow$ Deformación unitaria, obtenida a través de la ecuación (a)

TABLA 12.1: Coeficientes de Expansión Térmica Media de Cerámicas Seleccionadas.

Material	Coeficiente de expansión lineal, α ($10^{-6} / ^\circ\text{C}$)	Material	Coeficiente de expansión lineal, α ($10^{-6} / ^\circ\text{C}$)
Al_2O_3	8.8	Espinela	7.6
BeO	9.0	ThO_2	9.2
MgO	13.5	UO_2	10.0
Mullita	5.3	SiC	4.7

Fuente: Materiales de Cerámica en la Ingeniería y sus aplicaciones, p 587

TABLA 12.2: Propiedades Mecánicas Típicas a la temperatura del medio ambiente de cerámicas seleccionadas.

Material	Módulo de elasticidad (10^6 psi)	Módulo de Ruptura (psi)	Resistencia de tensión (psi)	Resistencia de compresión (psi)
Al_2O_3	53	30,000-50,000	-	250,000-400,000
BeO	45	20,000-40,000	14,000	120,000
MgO	30.5	25,000-45,000	19,000	-
AlN	50	38,500	-	200,000
BN	12	7,000-14,000	8,000	16,000-46,000
B_4C	68	47,000-50,000	-	400,000

Fuente: Materiales de Cerámica en la Ingeniería y sus aplicaciones, p 591

De las tablas anteriores (12.1 y 12.2) se tiene para la alúmina (Al_2O_3):

$$\alpha = 8.8 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$$

$$E = 53 \times 10^6 \text{ psi}$$

Además, el rango de resistencia de compresión de la alúmina es el siguiente:

$$\sigma_c = 250,000 - 400,000 \text{ psi.}$$

Asumiendo que para la primera hora de funcionamiento del horno, habrá un incremento de 120 °C, utilizando los valores del coeficiente de expansión lineal y del módulo de elasticidad de la Alúmina en las ecuaciones (a) y (b), se tendrá:

$$e = \alpha \Delta T = (8.8 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}) (120 ^\circ\text{C}) = 1.056 \times 10^{-3}$$

$$\sigma = Ee = (53 \times 10^6 \text{ psi}) (1.056 \times 10^{-3}) = 55,968 \text{ psi}$$

El esfuerzo generado por el incremento de temperatura de 120°C en la primera hora de funcionamiento del horno, no sobrepasa la resistencia de compresión de la Alúmina, por tal razón, se considera que este incremento de temperatura en el lapso de una hora es adecuado para el funcionamiento del horno.

Tiempo de funcionamiento del horno (h)	Velocidad del incremento de temperatura (°C / h)	T inicial (°C)	T final (°C)	Esfuerzos en la Alúmina (psi)
1	120	21	141	55,968
2	120	141	261	55,968
3	120	261	381	55,968
4	150	381	531	69,960
5	150	531	681	69,960
6	150	681	831	69,960
7	175	831	1006	81,620
8	175	1006	1181	81,620
9	175	1181	1356	81,620

TABLA 12.3: Esfuerzos Generados por los cambios de temperatura. Fuente: Análisis de Esfuerzos

De igual manera, se sigue con el análisis para los diferentes incrementos de temperatura y sus respectivos tiempos que han sido seleccionados; a continuación se presenta una tabla resumen de todos los cálculos.

En base a la tabla anterior, el horno puede funcionar con los incrementos de temperatura y sus respectivos tiempos seleccionados, puesto que ninguno provoca o genera esfuerzos que sobrepasen la resistencia del material.

12.2 Análisis Transitorio

Para Establecer distribuciones de temperatura, en el análisis de flujo transitorio se puede utilizar una técnica gráfica denominada el método de Schmidt, este método se basa en la selección del parámetro:

$$\frac{(\Delta X)^2}{2\alpha} = \Delta \tau$$

En donde:

X : Capas de pared (m)

α : Difusividad térmica $\left[\frac{m^2}{h} \right]$

ζ : Constante de Tiempo (h)

Para determinar el valor de la difusividad térmica es necesario conocer los siguientes parámetros:

K : Conductividad Térmica

ρ : Densidad

C_p : Calor específico del material

$$\alpha = \frac{K_{eq}}{\rho C_p}$$

La distancia ficticia o artificial (D_a) se encuentra:

$$D_a = \frac{K_{eq}}{h}$$

Donde:

D_a : Distancia ficticia o artificial (m)

h : Coeficiente de película

k : Conductividad térmica

Se especifica el rango de temperatura respecto a las velocidades de incremento en la siguiente tabla:

TABLA 12.4: Velocidades de incremento de Temperatura. Fuente: Materiales de Cerámica en la Ingeniería y sus aplicaciones, p 591

Rango de Temperatura (°C)	Velocidades Recomendadas (°C/h)
0 – 325	120
325 – 400	150
400 – 1300	150 o 175

El análisis transitorio:

$$R_{eq} = \frac{X_1}{k_1} + \frac{X_2}{k_2}$$

Donde:

X_1 : Espesor de la fibra cerámica

K_1 : Conductividad térmica de la fibra cerámica

X_2 : Espesor de lámina

K_2 : Conductividad térmica de la lámina

$$R_{eq} = \frac{0.0889}{2.74 \times 10^{-4}} + \frac{0.009525}{0.054} = 324.63 \text{ KW}$$

$$K_{eq} = \frac{X_{eq}}{R_{eq}} = \frac{0.098425}{324.63} = 3.03 \times 10^{-4} \frac{\text{KW}}{\text{m}^\circ\text{C}}$$

La densidad de la fibra cerámica (ρ_f) (ver anexo 7)

$$\rho_f = 3.0$$

$$\rho_f = 3.0(\rho_{H_2O})$$

$$\rho_f = 3(1000) = 3,000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$C_p = 0.000275 \frac{KWh}{Kg^{\circ}C}$$

$$\alpha = \frac{3.03 \times 10^{-4}}{3,000(0.000275)}$$

$$\alpha = 3.67 \times 10^{-4} \frac{m^2}{h}$$

$$D_a = \frac{K_{eq}}{h}$$

$$D_a = \frac{3.03 \times 10^{-4}}{4.0247 \times 10^{-3}}$$

$$D_a = 7.528 \times 10^{-2} m$$

$$D_a = 75.28 mm$$

Calculando el espesor de las capas:

$$\Delta X = \frac{\text{Espesor de la Pared}}{\text{Número de Capas}}$$

$$\Delta X = \frac{0.098425}{8}$$

$$\Delta X = 0.0123 m = 12.30 mm$$

La constante de tiempo se calcula:

$$\Delta \tau = \frac{(\Delta X)^2}{2\alpha}$$

$$\Delta \tau = \frac{(0.0123)^2}{2(3.67 \times 10^{-4})}$$

$$\Delta \tau = 0.2061 h = 12.367 \text{ min}$$

TABLA 12.5: Valores para construcción de gráfica de Schmidt. Fuente: Análisis anterior

Tiempo (horas)	Velocidad (°C/h)	Temperatura de inicio (°C)	Temperatura Final (°C)
1	120	21	141
2	120	141	261
3	120	261	381
4	150	381	531
5	150	531	681
6	150	681	831
7	175	831	1006
8	175	1006	1181
9	175	1181	1356

Con los valores de la tabla anterior se procede a elaborar el gráfico de Schmidt, ver grafico al final de los anexos.

Tomando como referencia el gráfico se construye la siguiente tabla que muestra la distribución de temperatura y flujo de calor para cada hora:

TABLA 12.6: Distribución de Flujo de Calor en Estado Transitorio. Fuente: Gráfico de Schmidt

Tiempo (horas)	Temp en el interior (°C)	Temp en el exterior (°C)	ΔT (°C)	U KW / m.°C	Q=AU ΔT (KW)
1	141	0	141	23.81×10^{-4}	0.34
2	261	21	240	23.81×10^{-4}	0.57
3	381	48	333	23.81×10^{-4}	0.79
4	531	83.3	447.7	23.81×10^{-4}	1.07
5	681	124.3	556.7	23.81×10^{-4}	1.33
6	831	173.6	657.4	23.81×10^{-4}	1.57
7	1006	232	774	23.81×10^{-4}	1.84
8	1181	301	880	23.81×10^{-4}	2.10
9	1356	371	985	23.81×10^{-4}	2.35

12.3 Distribución de Temperatura

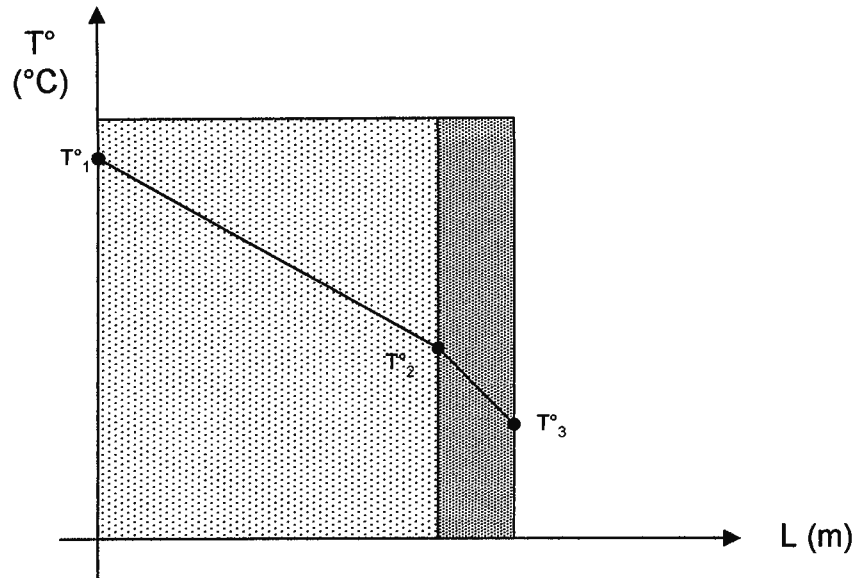


FIGURA 12.1: Distribución de Temperatura en la Pared y Techo del Horno

La distribución la podemos encontrar por medio de:

$$T^{\circ}_2 = T^{\circ}_1 - \left(\frac{q L_1}{A K_1} \right) \quad (\text{Ec. 12.1})$$

$$T^{\circ}_3 = T^{\circ}_2 - \left(\frac{q L_3}{A K_3} \right)$$

En general para (k+1) distribuciones:

$$T^{\circ}_{(k+1)} = T^{\circ}_k - \left(\frac{q L_{k+1}}{A K_{k+1}} \right) \quad (\text{Ec. 12.2})$$

donde:

$T^{\circ}_{(k+1)}$: Temperatura en un punto

T°_1 : Temperatura Inicial

$$\frac{q}{A} \quad : \text{ Calor transferido por unidad de área} \quad \left[\frac{KW}{m^2} \right]$$

$$\frac{L_{k+1}}{K_{k+1}} \quad : \text{ Resistencia Térmica de la porción} \quad \left[\frac{m^2 \cdot ^\circ C}{KW} \right]$$

Para encontrar la distribución de temperatura en las paredes, techo es necesario introducir el concepto de coeficiente total de transferencia de calor (U) el cual se define por:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h} + \frac{L}{K_{eq}}} \quad \left[\frac{KW}{m^2 \cdot ^\circ C} \right] \quad (\text{Ec. 12.3})$$

donde:

h: Coeficiente de película

L: Espesor total de la pared

K_{eq}: Conductividad térmica equivalente

Donde K_{eq} está dado por la ecuación:

$$K_{eq} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} L_i}{\sum_{i=1}^{i=n} \frac{L_i}{K_i}} \quad \left[\frac{KW}{m^2 \cdot ^\circ C} \right] \quad (\text{Ec. 12.4})$$

donde:

$$\sum_{i=1}^{i=n} L_i \quad : \text{ Espesor Total de la Pared (m)}$$

$$\sum_{i=1}^{i=n} \frac{L_i}{K_i} \quad : \text{ Resistencia Térmica Total de la Superficie Compuesta}$$

h, que representa el coeficiente de película, está dado por la expresión:

$$h = \frac{c(T_1^\circ - T_2^\circ)^{0.25}}{152} \left[\frac{\text{KW}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}} \right] \quad (\text{Ec. 12.5})$$

donde:

T_1 : Temperatura de la parte externa de la Superficie

T_2 : Temperatura del gas o aire

C: Constante que depende de forma y posición de la superficie

El Valor de C es determinado experimentalmente, se presenta la siguiente tabla:

TABLA 12.7: Valores de la Constante C. Fuente: Tesis UES

SUPERFICIE	C
Placa Horizontal con la cara hacia arriba y más caliente que el gas	0.39
Placas verticales y para cuerpos irregulares pero sin ángulos salientes	0.30
Para superficies horizontales con cara hacia abajo y mas calientes que el gas	0.20

Se procede a determinar la distribución de T° en las paredes y el techo:

Recordando que las paredes y techo están formadas por fibra de vidrio y lámina troquelada de 3/8" (9.525mm)

- Para la Fibra Cerámica:

a) Espesor: 88.9 mm (3.5") = 0.0889 m

b) $k = 2.7403 \times 10^{-4} \frac{\text{KW}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}} \quad \left(1.90 \frac{\text{Btu.in}}{\text{h.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}} \right)$

- Para la Lámina:
 - a) Espesor: 9.525 mm (3/8") = 0.009525 m

$$b) k = 0.054 \frac{\text{KW}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}} \quad \left(374.41 \frac{\text{Btu.in}}{\text{h.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}} \right)$$

Fuente: Considerando la lámina como acero suave. Transferencia de Calor, J.P. Holman, página 589 (Acero al Carbón 0.5%)

Se puede obtener los siguientes datos:

- Para la Fibra Cerámica:

$$\frac{L}{K} = \frac{0.0889}{2.7403 \times 10^{-4}} = 324.42 \left[\frac{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{KW}} \right]$$

- Para la Lámina:

$$\frac{L}{K} = \frac{0.009525}{0.054} = 0.1764 \left[\frac{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{KW}} \right]$$

- Para la superficie compuesta: (Fibra Cerámica + Lámina)

$$\sum_{i=1}^{i=2} L_i = 0.0889 + 0.009525 = 0.098425 \text{ m}$$

$$\sum_{i=1}^{i=2} \frac{L_i}{K_i} = 324.42 + 0.1764 = 324.59 \frac{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{KW}}$$

Con los valores anteriores se puede encontrar K_{eq} :

Sustituyendo en la ecuación 12.4:

$$K_{eq} = \frac{0.098425}{324.59} = 3.0323 \times 10^{-4} \left[\frac{\text{KW}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}} \right]$$

Antes de conocer el valor de U, debe calcularse el valor de h, este se determina de la siguiente manera:

de la ecuación 5 se tiene:

T_1 : Indica la temperatura en la superficie externa de la lámina

T_2 : Indica la temperatura del aire (temperatura ambiente)

Recordemos de la sección 10.2.1.2, la temperatura en la cara externa del horno será de 50°C y la temperatura ambiente de 21°C, se tiene entonces:

T_1 : 50°C

T_2 : 21°C

El análisis de esta superficie indica que es una placa con la cara caliente hacia arriba y más caliente que el gas (aire), por lo que se selecciona de la tabla 12.7 el valor de $C=0.39$

Sustituyendo estos valores en la ecuación 12.5:

$$h = \frac{0.39(50 - 21)^{0.25}}{152} = 0.0059542 \left[\frac{\text{KW}}{\text{m}^2\text{°C}} \right]$$

Con este valor de h se puede calcular el valor de U:
sustituyendo en la ecuación 12.3:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{0.0059542} + \frac{0.098425}{3.0323 \times 10^{-4}}} = 20.30 \times 10^{-4} \left[\frac{\text{KW}}{\text{m}^2\text{°C}} \right]$$

para calcular el flujo de calor (q) se utiliza la ecuación:

$$q = AU\Delta T^\circ \quad (\text{Ec. 12.6})$$

donde A: Área Transversal de la superficie (m^2)

se tiene entonces:

$$A = 1m^2$$

$$U = 20.30 \times 10^{-4} \frac{KW}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

$$\Delta T^\circ = T_{Horno}^\circ - T_{Ambiente}^\circ = 1250 - 21 = 1,229^\circ C$$

sustituyendo estos valores en la ecuación 12.6:

$$q = 1(20.30 \times 10^{-4})(1,229)$$

$$q = 2.50KW$$

Este flujo representa el calor que se transfiere desde la cara más caliente hasta la superficie exterior del horno. Con esto se puede determinar la distribución de T° en las superficies de contacto

Partiendo de la ecuación 12.1:

$$T^\circ_2 = T^\circ_1 - \left(\frac{q L_1}{A K_1}\right) = 1,250 - (2.50)(324.42)$$

$$T^\circ_2 = 440.51^\circ C$$

$$T^\circ_3 = T^\circ_2 - \left(\frac{q L_3}{A K_3}\right) = 440.51 - 2.50(0.1764)$$

$$T^\circ_3 = 440.07^\circ C$$

Es necesario mencionar el hecho que es necesario hacer varias iteraciones con T_3 hasta que la temperatura en la superficie externa llega a mantenerse casi constante. Luego de hacer 4 iteraciones se llegan a las siguientes temperaturas:

$$T^{\circ}_1 = 1,250^{\circ}C$$

$$T^{\circ}_2 = 300.73^{\circ}C$$

$$T^{\circ}_3 = 300.22^{\circ}C$$

Con las cuales se puede determinar el flujo de calor en estado estacionario, para esto se ocupa la siguiente ecuación:

$$q = K_{eq} S_{total} \Delta T^{\circ}$$

retomando los valores

$$K_{eq} = 3.0323 \times 10^{-4} \frac{KW}{m.^{\circ}C}$$

$$S_{Total} = 60.62 KW$$

$$\Delta T^{\circ} = 1250 - 300.22 = 949.78^{\circ}C$$

sustituyendo:

$$q = 3.0323 \times 10^{-4} (60.62)(949.78) = 17.46 KW$$

Tomando el valor de temperatura en estado estacionario $300.22^{\circ}C$ y en estado transitorio $371^{\circ}C$ nos damos cuenta que son demasiado altos para tenerlos en la superficie por eso es necesario agrega un aislante entre la fibra cerámica y la lámina para que la temperatura descienda hasta los $50^{\circ}C$ que se consideraron inicialmente

Tomando el valor del calor total en estado transitorio: $q = 11.94 KW$

$$q = \frac{\Delta T^{\circ}}{\frac{L_f}{K_f A}}$$

$$L_f = \frac{\Delta T^\circ K_f A}{q} = \frac{(371 - 50)(2.9 \times 10^{-5})}{11.94}$$

$$L_f = 7.796 \times 10^{-4} = 0.7796 \text{ mm}$$

El cual determina un espesor de 3" de material de fibra de vidrio. Ahora se ve en la necesidad de aumentar una capa de este material con el espesor antes mencionado para que la temperatura considerada inicialmente se llegue a conseguir.

12.4 Temperatura de los Gases de Salida

La relación de aire-combustible (de la sección 7) es de:

$$\text{Relacion de aire combustible} = 19 \frac{\text{kmol de aire}}{\text{kmol de combustible}}$$

Esta relación indica que por cada Kmol de combustible se necesita 19 Kmol de aire.

De la sección 7.7, el poder calorífico es de:

$$q_{pu} = 21,456.99 \frac{\text{Btu}}{\text{lb}}$$

Este valor de potencia calorífica indica que por cada libra de combustible, libera 21, 456.99 Btu a una temperatura de 1826.85°C.

Del anexo 8, la potencia que suministra un quemador es de:

$$q = 40,000 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}$$

$$q = 158732.83 \frac{\text{Btu}}{\text{h}}$$

Del valor del poder calorífico:

En 21,456.99Btu hay 1lb de combustible, entonces para 158732.83Btu que suministra un quemador, hay 7.40lb.

Para los 6 quemadores la masa que estoy inyectan es:

$$m_{\text{de los 6 quemadores}} = 7.40\text{lb}(6) = 44.4\text{lb}$$

Tomando en cuenta que se necesita el calor de escape por la chimenea de tiro invertido, el calor de escape se rige por la siguiente ecuación:

$$q_{\text{inyeccion de los 6 quemadores}} = q_{\text{perdidas}} + q_{\text{gases de escape}}$$

$$q_{\text{gases de escape}} = q_{\text{inyeccion de los 6 quemadores}} - q_{\text{perdidas}}$$

$$q_{\text{gases de escape}} = 279.12\text{KW} - 17.46\text{KW}$$

$$q_{\text{gases de escape}} = 261.66\text{KW}$$

$$q_{\text{gases de escape}} = mC\Delta T$$

$$\Delta T = \frac{q_{\text{gases de escape}}}{mC}$$

$$\Delta T = \frac{261660\text{W}}{44.4\text{kg} \left(960 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{C}} \right)}$$

$$\Delta T = 6.138^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T = T_{\text{gases escape}} - T_{\text{interna del horno}}$$

$$T_{\text{gases escape}} = 1250^{\circ}\text{C} + 6.138^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{gases escape}} = 1256.138^{\circ}\text{C}$$

Tomando en consideración los análisis anteriores el horno propuesto tiene las siguientes especificaciones:

- Forma: Cúbico
- Volumen: 1m^3
- Paredes: Compuestas por Fibra Cerámica, Fibra de Vidrio y Lámina Troquelada
- Espesores:
 - Fibra Cerámica: 0.0889m (3.5")
 - Fibra de Vidrio: 0.762m (3.0")
 - Lámina Troquelada: 0.009525m (3/8")
- Potencia del Horno: 29.42 KW (100,385.21 Btu/h)
- Combustible: Gas Propano
- # de Quemadores: 6
- Sistema de Alimentación: Independiente con 2 tanques de 100 lbs c/u

Otro aspecto importante a tener en cuenta es la carga máxima que se puede introducir en el horno, para esto se hace el siguiente análisis:

12.5 Carga Máxima de Piezas a Introducir

El volumen de las piezas cerámicas a introducir esta ligado al espacio del horno en el cual van ha circular los gases a una temperatura de 1250°C . Este volumen debe de ser menor a las dimensiones del horno, se presenta un intervalo en el cual el valor del volumen de las piezas cerámicas a introducir puede variar.

$$\frac{1}{2}V_{\text{horno}} \leq V_{\text{piezas introducidas}} \leq \frac{2}{3}V_{\text{horno}}$$

El volumen a introducir dentro del horno no es sólido, sino que presenta huecos o espacios vacíos, por lo que el volumen de las piezas cerámicas a introducir es de $\frac{1}{2} V_{\text{horno}}$.

$$V_{\text{piezas a introducir}} = \frac{1}{2} V_{\text{horno}}$$

$$V_{\text{piezas a introducir}} = \frac{1}{2} (1\text{m}^3)$$

$$V_{\text{piezas a introducir}} = 0.5\text{m}^3$$

Con el cálculo del volumen de las piezas se encuentra cuanta masa de cerámica se puede introducir.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

donde:

ρ : densidad (para la cerámica $2,645\text{kg}/\text{m}^3$, tomado de A.F.Mills pag. 859)

m : masa de la cerámica a introducir.

V : volumen de la cerámica a introducir.

$$m = \rho V$$

$$m = 2,645 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} (0.5\text{m}^3)$$

$$m = 1,322.5\text{kg}$$

Para el horno que posee 1m^3 de volumen la carga máxima de masa a introducir es de $1,322.5\text{kg}$.

13.0 CONSIDERACIONES PARA MINIMIZAR EL IMPACTO AMBIENTAL GENERADO POR LA INDUSTRIA CERAMICA

No cabe duda que el avance científico y tecnológico de nuestros días, ha permitido mejorar en gran medida la calidad de vida del hombre. Sin embargo el costo inherente a este desarrollo, es el alto deterioro ambiental que día a día se está generando. En la actualidad, casi todo el mundo se ha concientizado sobre la necesidad humana de disponer de un medio ambiente aceptable en todos los órdenes, siendo precisamente el de su contaminación uno de los más sensibles desde el punto de vista social. En este sentido, más adelante se toman en cuenta consideraciones encaminadas a minimizar el impacto ambiental que puede ser generado, debido a la actividad productiva de las industrias dedicadas al rubro de la cerámica en nuestro país. Se sabe que la implementación de estas medidas por parte de los industriales de la cerámica no será inmediata, sin embargo se exponen para que puedan ser consideradas lo más pronto posible.

Además del Dióxido de Carbono, el Vapor de agua y el Nitrógeno, que ya han sido mencionados como contaminantes de las emisiones de los hornos a gas, también pueden ser encontradas en estas las siguientes sustancias:

- Partículas, debidas a la condensación de componentes volátiles de la carga.
- Óxidos de azufre, por la descomposición de componentes de azufre en los materiales de la carga.
- Cloro, impureza en materias primas especialmente en carbonato de sodio manufacturado.
- Boro, utilizado como fundente.
- Metales pesados, presentes como impurezas minoritarias en algunas materias primas y combustibles.
- Monóxido de Carbono, producto de la combustión incompleta.
- Sulfuro de Hidrógeno, formadas de las materias primas o del azufre del combustible.

13.1 Como Purificar los Efluentes

En primera instancia se debe tener en cuenta que la industria cerámica nacional no cuenta con métodos absolutos para la depuración de los efluentes, es decir, los efluentes tratados siempre conservan algún grado de contaminación. Alcanzar sistemas de retención absolutos, conllevaría la aplicación de tecnologías sofisticadas siendo necesario realizar inversiones onerosas, las cuales no pueden sufragar las empresas nacionales dedicadas al rubro de la cerámica. A pesar de esto, es necesario aplicar los mejores y más eficientes métodos disponibles de manera que las emisiones sean reducidas al máximo.

13.1.1 Depuración de Efluentes Gaseosos

Excepcionalmente los efluentes emitidos por las chimeneas de humos de los hornos no son tratados debido a su bajo contenido relativo de contaminantes. Por el contrario, los efluentes de chimeneas de aspiración de polvos deben ser siempre tratados debido a su alta carga de polvo (los componentes de estos polvos van desde materias primas arcillosas hasta polvos con alta proporción de metales pesados de alta toxicidad).

Para cualquier método de depuración de gases tan importante como separarles los contaminantes, es definir el destino de los mismos. De lo contrario los desechos irán acumulándose para luego convertirse en un problema mayor.

Para la depuración de los gases de las chimeneas de humos, los métodos pueden ser los siguientes:

- Filtros de mangas. Estos no se recomiendan para gases con temperaturas superiores a 40-50 °C por la inestabilidad de las mangas, salvo filtros especiales.
- Ciclones secos. No son recomendados para polvos altamente contaminantes debido a que su eficiencia de captación no es alta.
- Lavado de gases o ciclones húmedos.
- Filtros electrostáticos.

Si se usaran filtros de mangas, los gases que se filtran deben ser secos y de baja temperatura para no tapar o deteriorar las mangas.

13.1.2 Depuración de Efluentes Líquidos

Los efluentes líquidos que provienen generalmente del lavado de molinos y esmaltadoras pueden tratarse de alguna de las siguientes maneras:

- Por decantación sin agregado de aditivos.
- Por decantación con el agregado de aditivos.
- Recirculando el agua de lavado reusándola en el proceso.
- Combinado la decantación con el reusado.

El agregado de aditivos al agua contaminada si bien elimina la mayor parte de los sólidos en suspensión, no siempre alcanza a hacer decantar los disueltos, por esta razón este sistema no es totalmente eficiente.

El mejor método para no tener efluentes es no generándolos. La no generación de efluentes líquidos se consigue generalmente con la programación de las actividades: usar siempre un mismo molino para un determinado esmalte, etc.

13.1.3 Depuración de los Efluentes Sólidos

1. Efluentes sólidos secos. Estos provienen de las roturas de cocido y, pueden ser utilizados para rellenos de terrenos.
2. Efluentes sólidos húmedos. Estos son los barros de los decantadores de esmaltes. Estos residuos son altamente peligrosos y debe dárseles un destino seguro. Pueden reciclarse al proceso.
3. Efluentes de crudo esmaltado. Al tirarlos al descubierto, por lixiviación los esmaltes pueden escurrirse al terreno. Estos residuos deben ser eliminados por reciclado o bien almacenados en lugares seguros.

14.0 VENTAJAS DEL DISEÑO PROPUESTO

Ventajas del Diseño propuesto con respecto a los hornos existentes:

- Los materiales utilizados en el diseño propuesto son de mejor calidad con respecto a los existentes, como por ejemplo la fibra cerámica que se utiliza.
- Las características de los accesorios que se utilizan, nos permiten tener un mejor control sobre el proceso del tratamiento térmico. Así se tienen por ejemplo los controladores que permiten conocer la temperatura dentro del horno en cualquier momento de operación de este, hasta la regulación de la cantidad de combustible que se necesita cuando este alcanza condiciones de operación estable.
- El peso del horno se ve reducido por la composición de sus paredes, en comparación con los que utilizan ladrillo refractario.
- Con la chimenea de tiro invertido seleccionada para el diseño, se asegura una mejor distribución de temperatura dentro del horno, es decir, se obtiene una temperatura más homogénea al interior de este.
- Con la utilización del rompe llamas se evita la incidencia de ella sobre las piezas que serán tratadas térmicamente, evitando su deterioro.
- Los costos reflejados en el análisis económico son bajos en comparación a los costos de los distintos hornos a gas existentes en las empresas consultadas.

15.0 ANALISIS ECONOMICO

15.1 Tiempo de Recuperación

Consultando diferentes empresas, que poseen hornos a gas para tratamientos cerámicos, la ganancia que estas obtienen en cada horneada es aproximadamente de \$300. Esta ganancia es en base a 1m^3 de volumen de piezas a introducir dentro del horno.

En el diseño propuesto la ganancia será de aproximadamente \$130, teniendo en cuenta que el volumen de piezas a introducir es de 0.5m^3 , este volumen es la mitad del volumen que las empresas emplean.

Para conocer que en cuanto tiempo se recuperara la inversión del horno, es necesario saber cuantas horneadas se harán en el mes.

Se considera que en una semana se tendrá 3 horneadas, entonces en el mes se harán 12 horneadas. Conociendo cuantas horneadas por mes se harán, se puede conocer cuanta ganancia se tendrá en el mes como se muestra:

$$\text{Ganancia mensual} = \$130(12 \text{ horneadas}) = \$1540 \text{ en el mes}$$

Pero como la ganancia no es neta, sino hay que distribuirla en gastos fijos como pagos de planilla, mantenimiento de equipo, pago de servicios y otros, la aportación que se ve reflejada a la recuperación de la inversión del horno será de un 15% de la ganancia mensual.

A continuación se presenta una tabla de cómo se comporta la recuperación de capital.

TABLA 15.1: Recuperación de Capital. Fuente: Análisis anterior

Meses	Recuperación mensual	Recuperación Acumulada
1	$\$1560(0.15)=\234	\$234
2	$\$1560(0.15)=\234	\$468
3	$\$1560(0.15)=\234	\$702
4	$\$1560(0.15)=\234	\$936
5	$\$1560(0.15)=\234	\$1,170
6	$\$1560(0.15)=\234	\$1,404
7	$\$1560(0.15)=\234	\$1,638
8	$\$1560(0.15)=\234	\$1,872
9	$\$1560(0.15)=\234	\$2,106
10	$\$1560(0.15)=\234	\$2,340
11	$\$1560(0.15)=\234	\$2,574
12	$\$1560(0.15)=\234	\$2,808
13	$\$1560(0.15)=\234	\$3,042
14	$\$1560(0.15)=\234	\$3,276
15	$\$1560(0.15)=\234	\$3,510

De acuerdo a la tabla se observa que la inversión se recupera en un tiempo de 15 meses.

16.0 GUIA DE USO DEL PROGRAMA DE SIMULACION DEL DISEÑO DEL HORNO

Introducción:

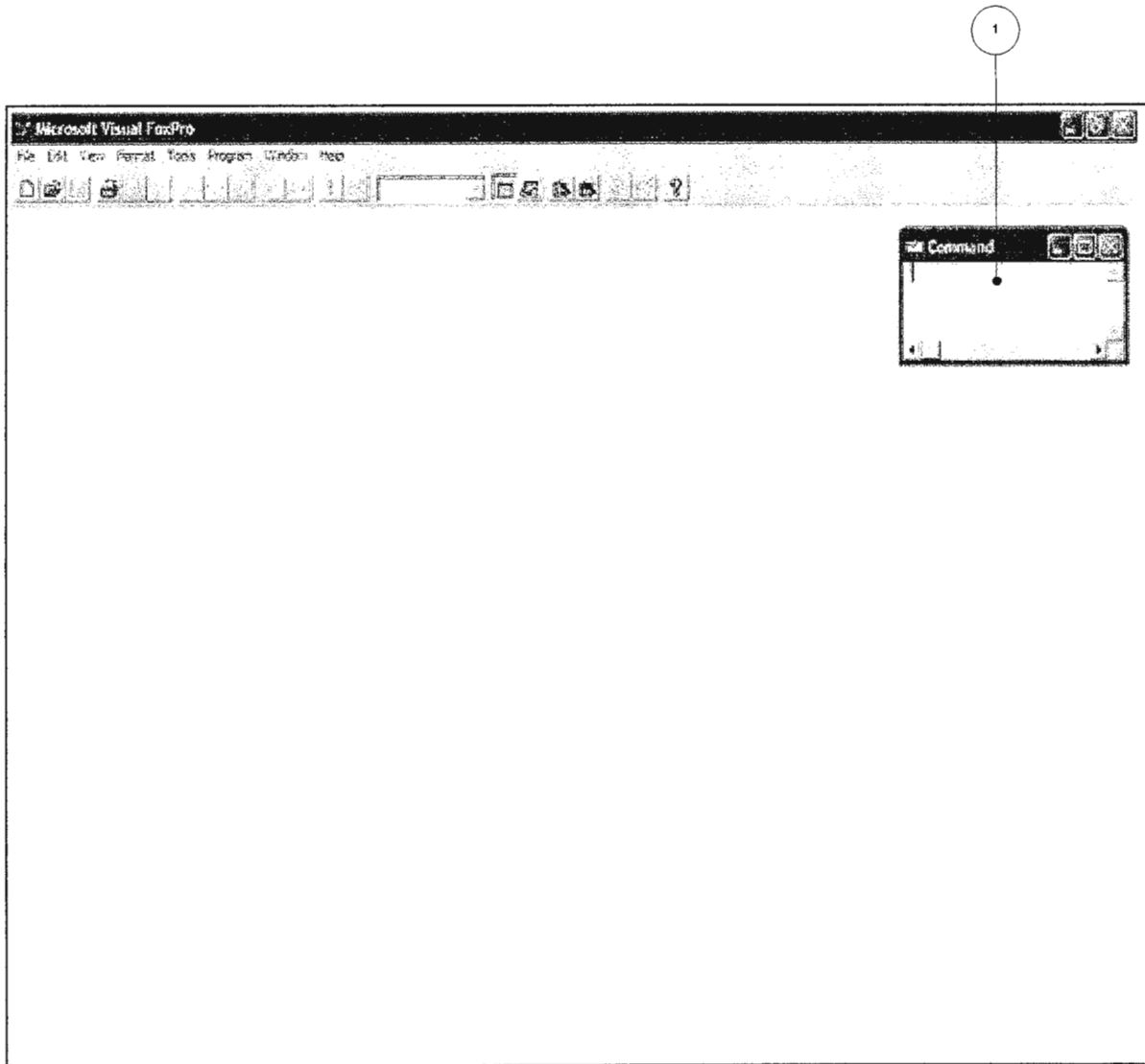
El programa de simulación del diseño del horno pretende ser una herramienta la cual facilite a las personas interesadas, tener una idea de las características y costo del horno que ellos seleccionen.

Antes de comenzar a explicar el uso del programa de simulación se necesita tener los siguientes requisitos:

- Windows 2000 o mayor
- Tener instalado Microsoft Visual FoxPro Ver. 6.0, en caso que no se disponga de este programa, también está incluido en el disco que se proporciona. Siga las instrucciones del mismo para instalarlo.
- El disco que se proporciona contiene una carpeta llamada: "Programa", esta debe de ser copiada directamente en el disco C:\ de la máquina donde se quiere instalar

El uso del software de simulación es el siguiente:

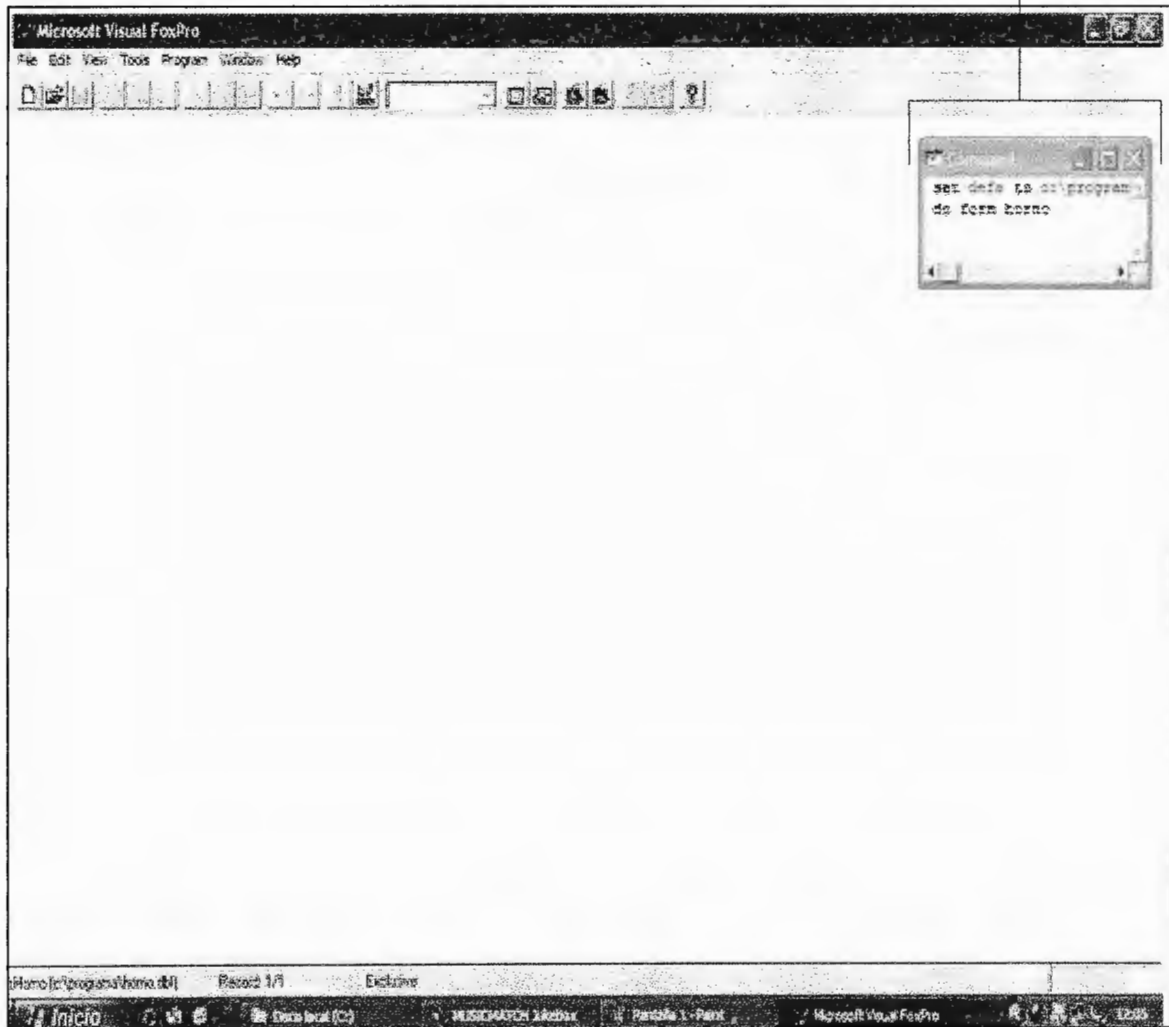
PASO 1: Ingrese al Programa Microsoft Visual FoxPro, aparecerá la siguiente pantalla. Donde 1 representa la pantalla de Comandos de Microsoft Visual FoxPro



PASO 2: En la pantalla de comandos introduzca lo siguiente (2):

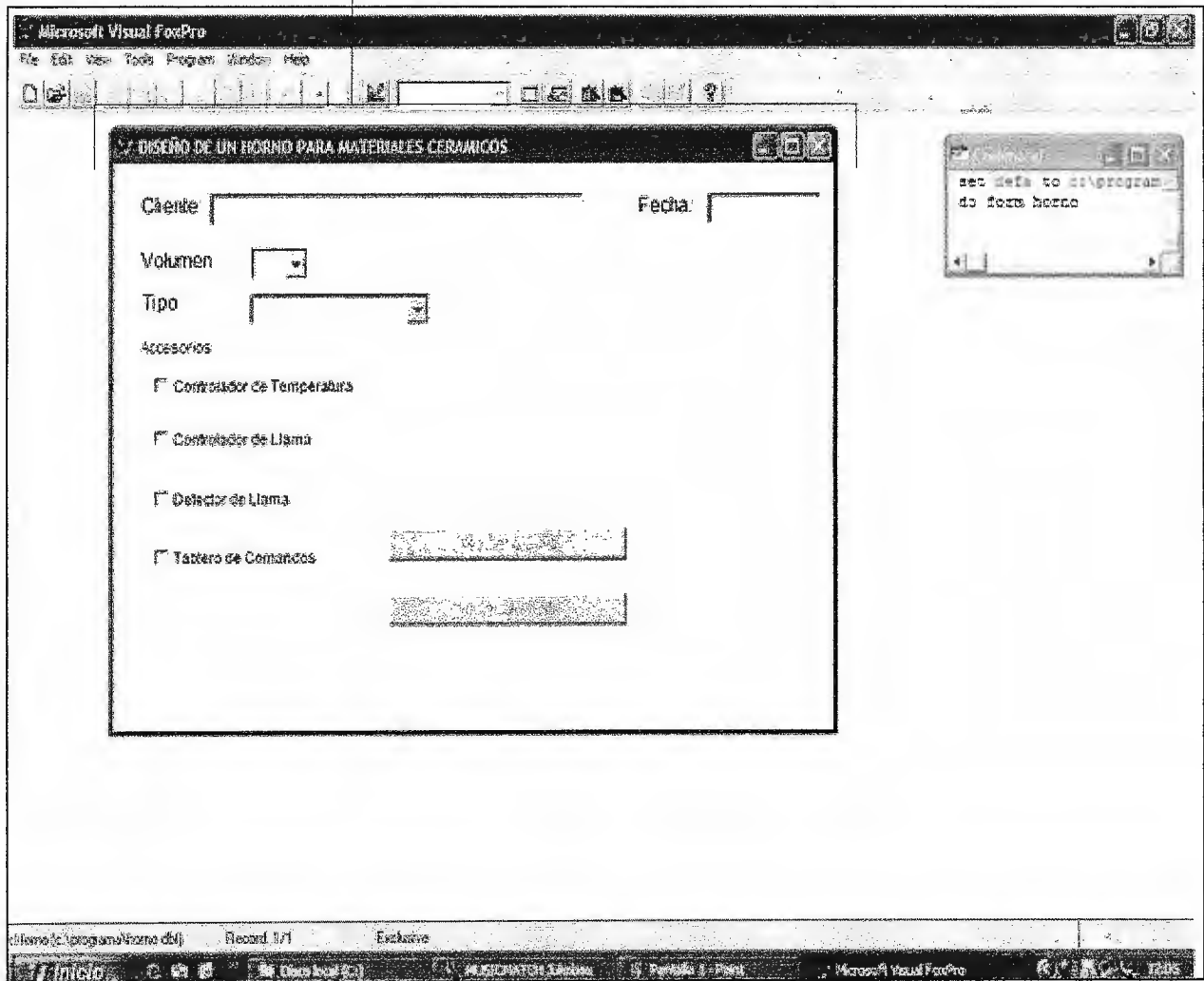
set defa to c:\programa (presione la tecla Enter)

do form horno (presione la tecla Enter)

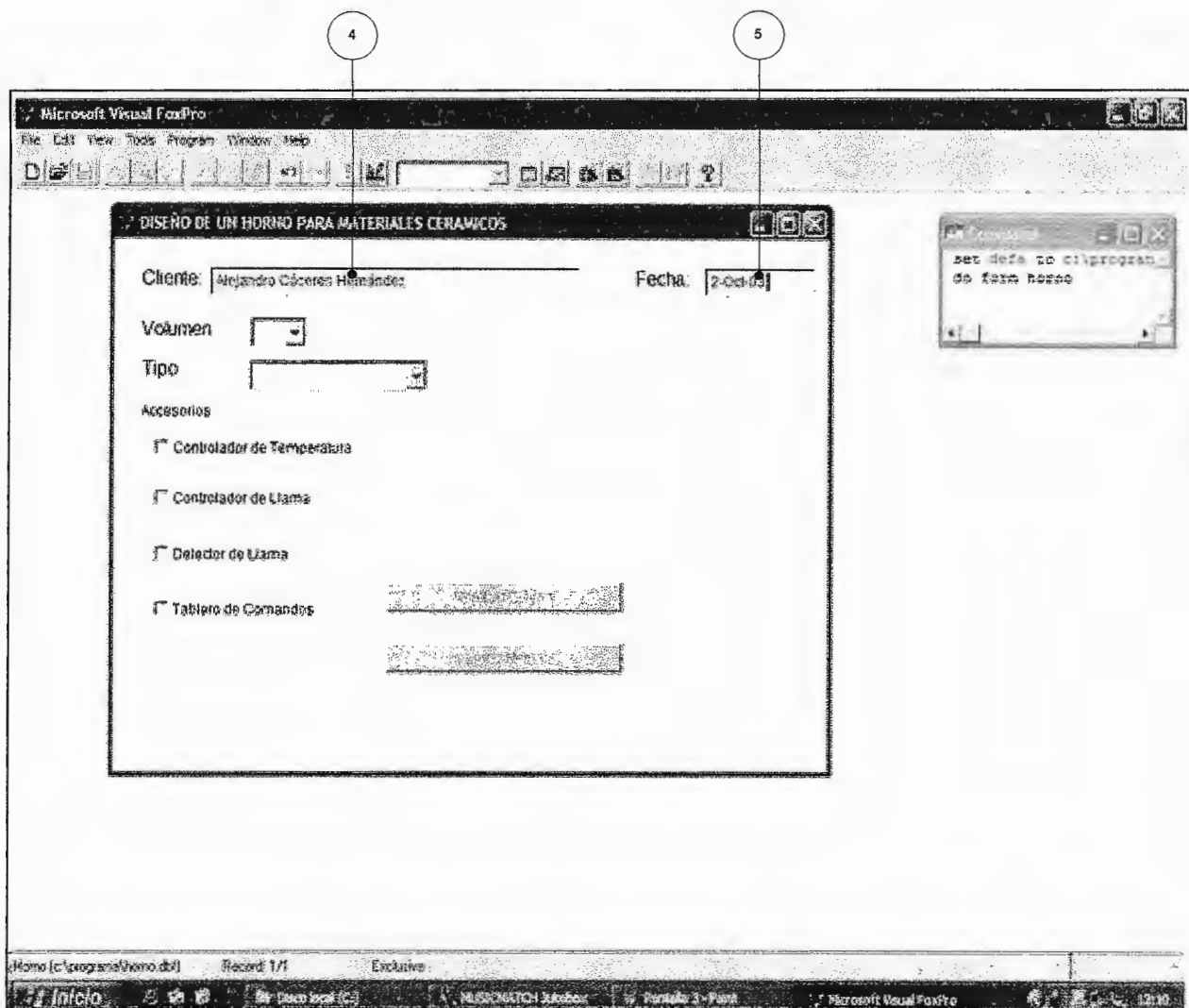


PASO 3: Aparecerá la siguiente pantalla (3), la cual presenta ciertos campos para realizar el diseño del horno.

3

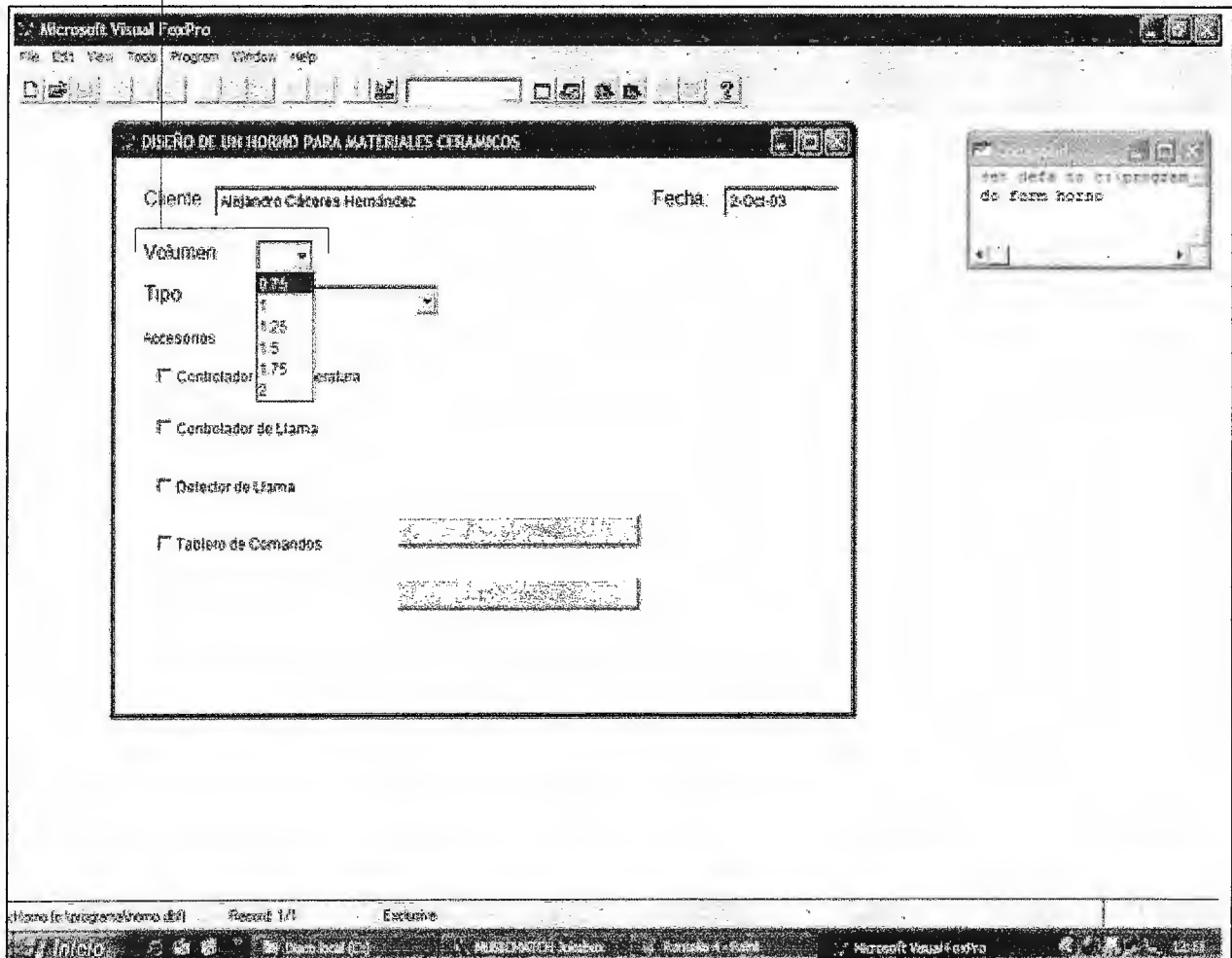


PASO 4: Introduzca el nombre del cliente (4) y la fecha (5)



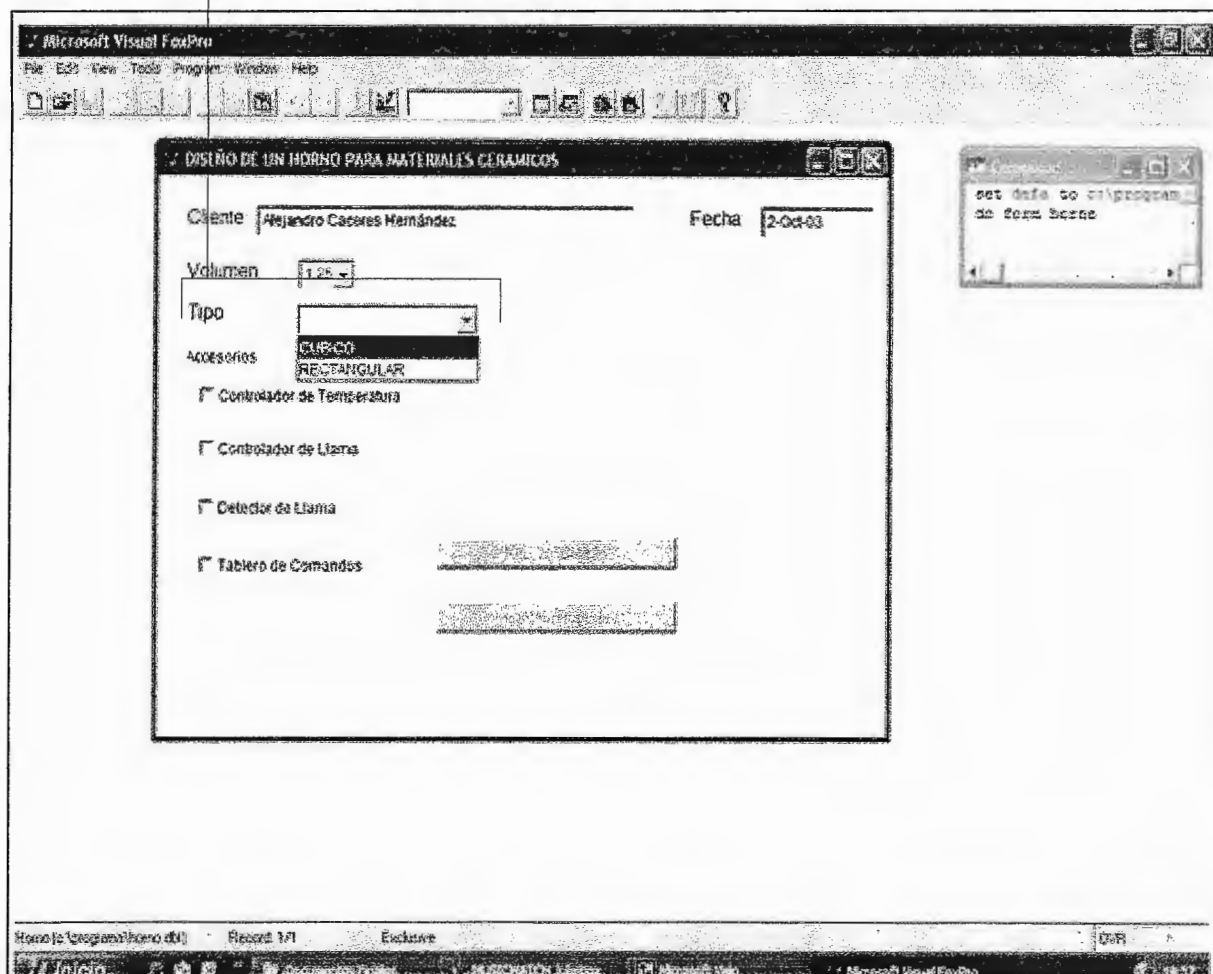
PASO 5: Seleccione el volumen del horno, los distintos valores que se puede seleccionar se presenta en la casilla correspondiente (6) en m³.

6

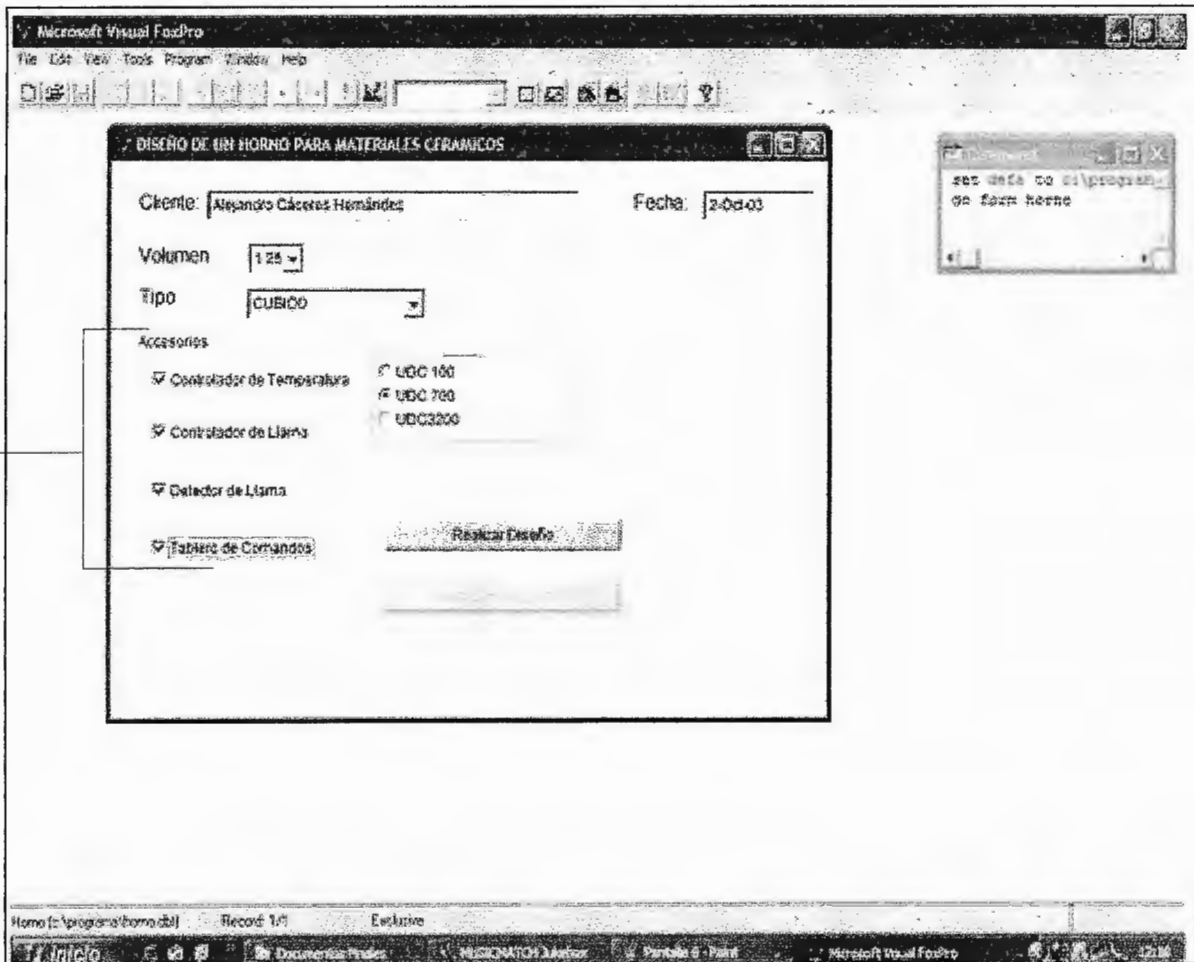


PASO 6: Seleccione la forma del horno (Cúbico o Rectangular) (7).

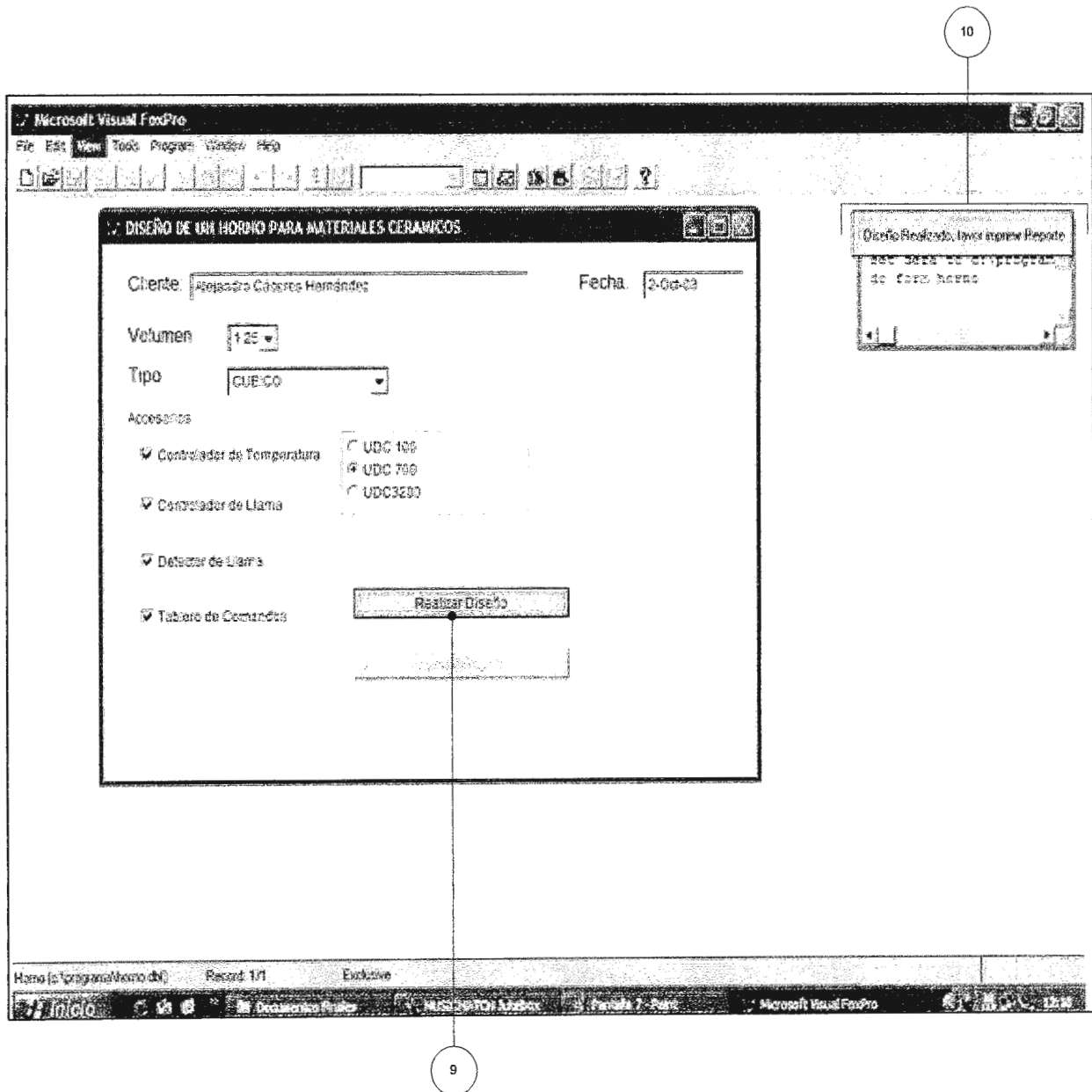
7



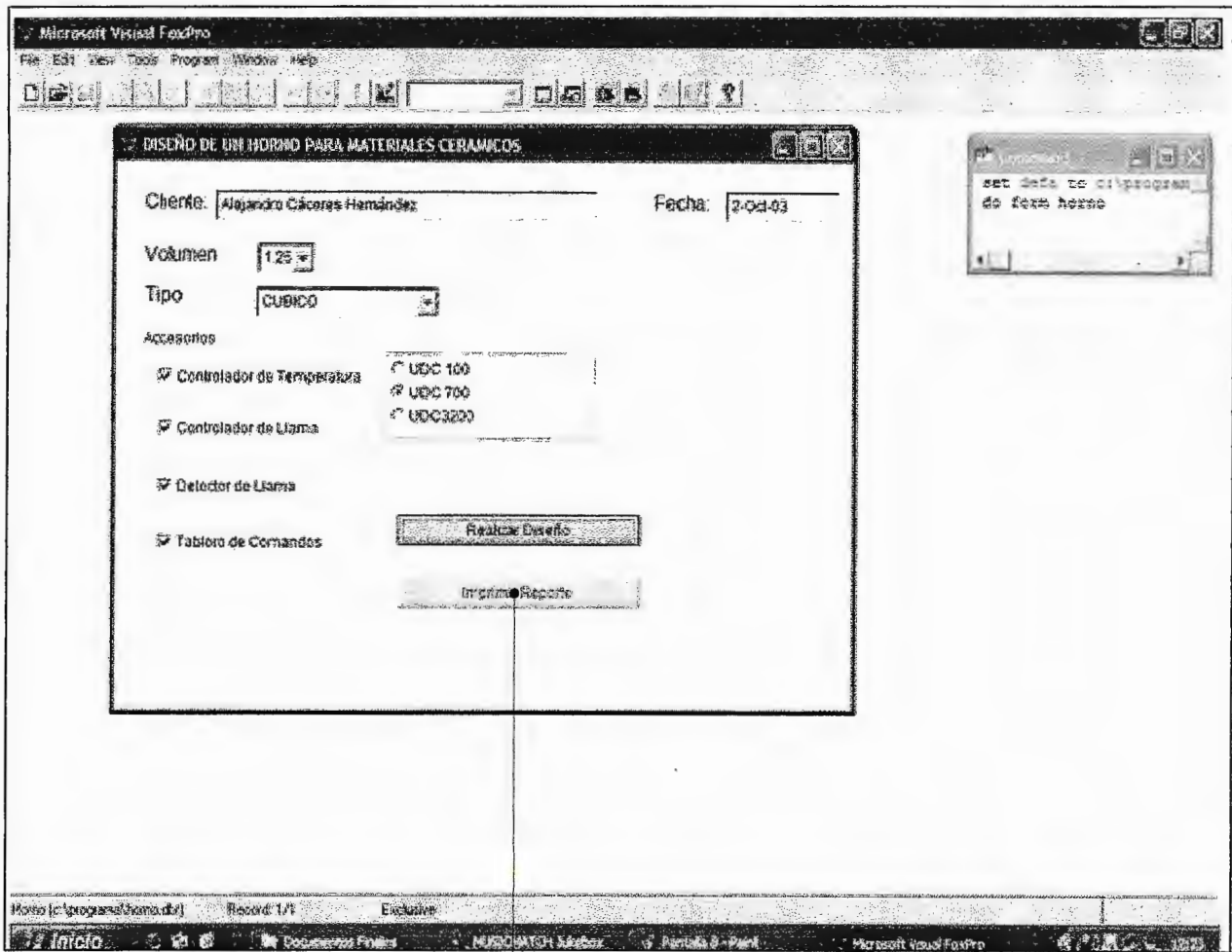
PASO 7: Seleccione los accesorios que llevará el horno. Con respecto al Controlador de Temperatura se puede seleccionar entre 3 modelos. Para ver las características de ellos referirse al catálogo de los accesorios



PASO 8: Una vez realizado la selección del volumen, forma y accesorios del horno presione el botón (Realizar Diseño) (9), aparecerá una ventana en la parte superior derecha (10) la cual indica que puede procederse a imprimir el reporte.



PASO 9: Presionar el botón "Imprimir Reporte" (11) para acceder al mismo.

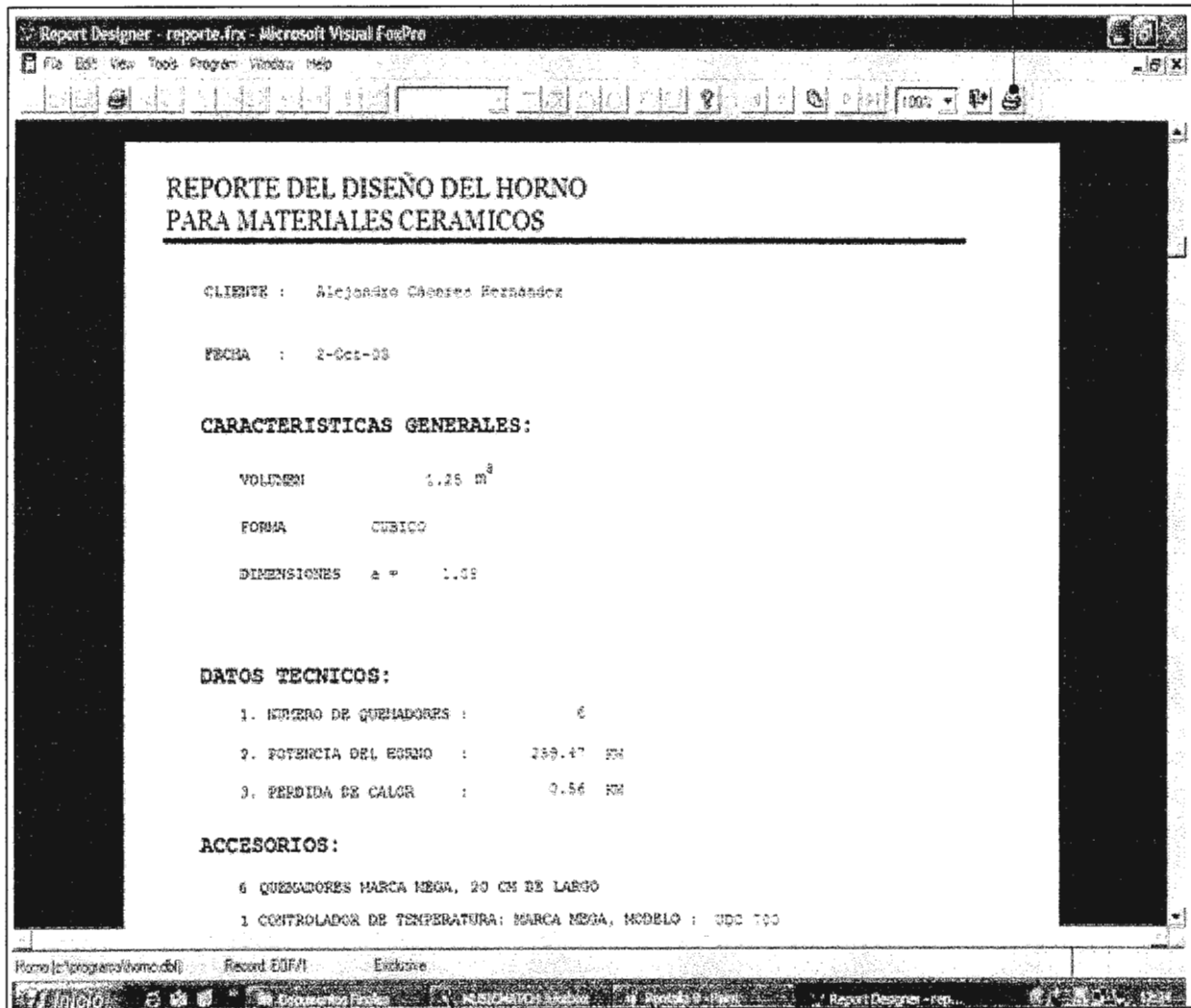


11

REPORTE DEL DISEÑO:

El reporte es como aparece en la siguiente gráfica:

12



Para imprimir el reporte presione el botón (12)

El reporte está dividido en las siguientes partes:

REPORTE DEL DISEÑO DEL HORNO PARA MATERIALES CERAMICOS

CLIENTE : Alejandro Cáceres Hernández

FECHA : 2-Oct-09

• CARACTERISTICAS GENERALES:

VOLUMEN 1.25 m³

FORMA CUBICO

DIMENSIONES a = 1.08

• DATOS TECNICOS:

1. NUMERO DE QUEMADORES : 6
2. POTENCIA DEL HORNO : 259.47 KW
3. PERDIDA DE CALOR : 0.56 KW

• ACCESORIOS:

- 6 QUEMADORES MARCA MEGA, 20 CM DE LARGO
 - 1 CONTROLADOR DE TEMPERATURA: MARCA MEGA, MODELO : UDC 700
 - 1 CONTROLADOR DE LLAMA: MARCA MEGA, MODELO SATRONIC TFI 812.3
 - 1 DETECTOR DE LLAMA: MARCA MEGA
 - 1 TABLERO DE COMANDOS: MARCA MEGA
- NOTA : PARA CARACTERISTICAS TECNICAS REFIERASE AL CATALOGO DEL PRODUCTO

• COSTOS:

1. COSTOS DE CONSTRUCCION :	\$1,695.12
2. COSTOS DE EQUIPO :	\$2,427.59
	<hr/>
TOTAL	\$4,122.71

F. _____

18

Donde:

Campo 13: Nombre del Cliente y fecha

Campo 14: Características Generales: se detalla Volumen, Forma y Dimensiones de acuerdo al volumen y forma seleccionados.

Campo 15: Datos Técnicos: se especifica el número de quemadores, potencia del horno y pérdidas de calor, de acuerdo al volumen y forma seleccionados.

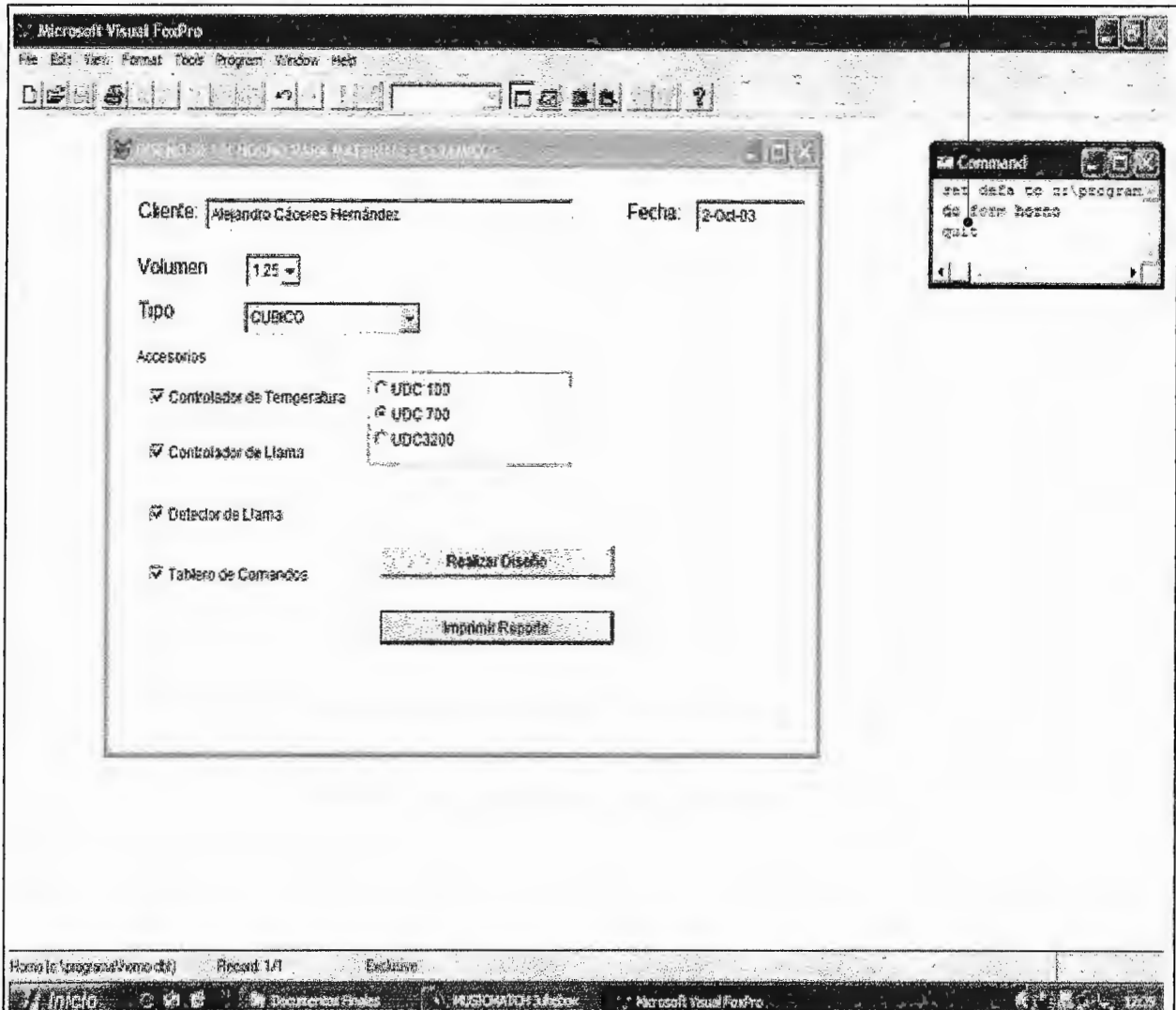
Campo 16: Accesorios: se detallan los accesorios que llevará el horno.

Campo 17: Costos: se detallan los costos para la fabricación del horno.

Campo 18: Firma del que realiza la cotización

Para salir del programa digite en la casilla de comandos la palabra *Quit* (19)

19



17.0 CONCLUSIONES

Con respecto al diseño del horno se puede decir que se cuenta con una opción viable debido a que el mismo está basado en un análisis de transferencia de calor que demostró que el espesor que se utiliza es el más adecuado tanto para reducir las pérdidas y más importante aún el costo económico de estas pérdidas son bajas.

La utilización de fibra cerámica como material refractario contribuye enormemente a aumentar la eficiencia del horno, debido a que esta no absorbe calor (aproximadamente un 5% comparado con los tradicionales ladrillos refractarios), por lo que las pérdidas sólo se reducen a convección y conducción. También es importante destacar el tiempo de calentamiento se ve acortado debido a que como la fibra cerámica no absorbe mucho calor, el horno se calentará más rápido en comparación si estuviera hecho con ladrillos refractarios.

Al disponer de los quemadores horizontales y tener un rompellamas nos estamos asegurando dos cosas, por un lado direccional el flujo de manera que todos los gases calientes de la combustión circulen por el horno logrando así una temperatura uniforme en el interior del mismo y por el otro lado el rompellamas protege las piezas del contacto directo con la llama, logrando así que menos piezas se arruinen al momento del funcionamiento del horno.

El software de simulación del horno es una herramienta importante debido a que nos permite acoplar las necesidades de una determinada empresa al diseño planteado.

Para finalizar, tomando en cuenta las ventajas expuestas en la sección 14, el diseño propuesto presenta cierto atractivo con respecto a los modelos existentes en el mercado.

18.0 RECOMENDACIONES

- Un aspecto importante a tener en cuenta es el costo del horno, recordemos que este es una característica importante dentro del diseño, al momento de elaborar este documento los precios que se presentan son los que hasta la fecha se manejan, por lo que si en un futuro se decide construirlo se debe de consultar los precios de los materiales y accesorios que aquí aparecen.
- No se recomienda una distribución vertical de los quemadores, este tipo de diseño no es conveniente debido a que la llama que sale del quemador roza las piezas horneadas produciendo daños en el esmalte de la pieza.
- En el caso de que se desee fabricar las paredes del horno con fibra cerámica, como aparece en este documento, se recomienda la disposición de mecanismos de ventilación forzados para el secado de las paredes, ya que de lo contrario se deberá esperar aproximadamente 3 semanas para que las paredes estén completamente secas.
- Recordemos que el Horno es alimentado con gas propano el cual es inflamable por lo que se recomienda tomar en cuenta las respectivas medidas de seguridad al momento de estar operando el horno.

GLOSARIO DE TERMINOS CERAMICOS

- **Alúmina:** El óxido de aluminio es un componente importante tanto en el barro como en el esmalte porque ayuda a unificar los materiales presentes e incrementa la estabilidad del esmalte.
- **Alfarería:** Parte de la cerámica que incluye las piezas fabricadas para vasijas con el torno (alfar)
- **Amasar:** Manipular la masa arcillosa con las manos hasta que adquiera la consistencia deseada.
- **Antiplásticos:** Compuestos que se agregan a la arcilla para modificar sus propiedades.
- **Atmósfera:** Cuando utilizamos esta palabra en cerámica nos referimos exactamente al tipo de atmósfera o ambiente existente dentro del horno en el momento de la quema.
- **Azulejo:** Placa de cerámica vidriada, de varios colores, que sirve comúnmente para la decoración de zócalos, suelos o frisos en las iglesias, portales, cocinas, baños y otros sitios y también para inscripciones como nombres de calles y números de casas. Los primeros azulejos hispanoárabes fueron los alicatados: posteriormente se utilizó la *cuerda seca* , que permitía vidriar colores distintos sobre la misma placa, y la técnica llamada *cuenca* más sencilla y práctica que la anterior.
- **Baja temperatura:** Término generalmente usado para los barros con un rango de maduración de temperatura alrededor de los 1050°C.
- **Bajo cubierta:** Técnica de decoración en que los óxidos colorantes o los colorantes cerámicos se aplican a la pieza antes de esmaltar, cuando el esmalte se cuece la decoración está bajo el esmalte.
- **Barbotina:** Barro en estado muy líquido que se usa para unir las partes de una pieza en estado crudo y tierno.
- **Barniz:** Película vítrea que cubre la superficie de los objetos cerámicos.
- **Bizcocho:** Cerámica sin barnizar cocida y porosa.
- **Blanco:** Cerámica todavía sin decorar.

- **Bucchero o búcaro:** Cerámica de cuerpo negro y brillante producida por los etruscos. Cocción reductora de una arcilla rica en óxidos de hierro.
- **Cenizas:** En general de leña, paja, etc. Se usan como componentes de los barnices de alta temperatura.
- **Cerámica:** Término con el que se alude a todas las mezclas basándose en arcilla y agua que además son sometidos a cocción (terracota, mayólica, gres, porcelana, etc.)
- **Cocción:** Calentamiento, de acuerdo con un plan preestablecido, de las piezas crudas moldeadas, seguido de un enfriamiento según un plan igualmente bien definido, conocido como *ciclo de cocción*.
- **Cocción oxidante:** Combustión rica en oxígeno en la cámara de cocción.
- **Cocción reductora:** Cocción reductora. Cocción en la que no hay bastante oxígeno que consuma el carbono que emana del barniz y la arcilla, formándose monóxido de carbono. Este compuesto utiliza el oxígeno de la pasta y del barniz, haciendo cambiar el color de algunos óxidos colorantes.
- **Conos de Seger:** delgadas formas piramidales de una pasta especial, que sirven para medir la temperatura en el interior del horno, funden a la temperatura indicada, según los componentes del mismo.
- **Conos Pirométricos:** Barritas de barro que por su composición funden y se doblan a una temperatura determinada. Deben colocarse de manera que se vean a través de la mirilla de la puerta del horno y proporcionan la justa medida del trabajo realizado por el calor.
- **Cristalización:** formación de cristales. Todos los esmaltes que contienen rutilo, zinc y otros óxidos tienden a formar cristales.
- **Colada:** Sistema de producción de piezas en la que se vierte pasta cerámica líquida dentro de moldes de escayola. También, nombre que se da a este tipo de moldes.
- **Combadura:** Deformación de la pieza de arcilla causada por tensiones desiguales durante el modelado, secado o cocción.

- **Cuarteado:** Grietas en la superficie del barniz, debidas a las diferentes dilataciones de la arcilla, o pasta cerámica, y del recubrimiento (barniz).
- **Chamota:** Materiales cerámicos que han sido cocidos, molidos y reducidos a granos de varios grosores.
- **Dureza de cuero:** Estado de la arcilla parcialmente endurecida, pero que aún conserva una cierta humedad. Es en este estado cuando se pulen las piezas torneadas.
- **Encastre:** Parte de la tapa que se introduce en un tarro, tetera, etc.
- **Engobe:** Preparado arcilloso de consistencia cremosa bastante fluida, de color natural o que ha sido coloreada con óxidos metálicos.
- **Esmaltar:** Cubrir con esmalte.
- **Esmalte:** Sustancia vítrea, opaca o transparente, con la que se recubren algunas materias para darles brillo o color de forma permanente.
- **Estado de cuero:** Propiedad característica del barro que al empezar a secarse tiene una plasticidad similar al cuero.
- **Estampar:** Imprimir, sacar en estampas las figuras, dibujos o letras contenidos en un molde, ejerciendo presión sobre un papel, tela, etc., o sobre un objeto de metal, cuero, etc.
- **Estarcir:** Estampar dibujos pasando una brocha por una chapa en que están previamente recortados.
- **Fundentes:** Componentes de bajo punto de fusión que se combinan con los compuestos silíceos y que reducen la temperatura de fusión de la masa arcillosa.
- **Frita:** Barniz que ha sido cocido y vuelto a moler para insolubilizar sus materiales fundentes.
- **Gres:** Cerámica de pasta compacta, opaca, coloreada, o blanca, cuyos productos tienen un cuerpo duro, no poroso y sonoro. Cuele a temperaturas altas (unos 1.300°C).

- **Horno:** Cámara construida con tabiques refractarios y provista de un equipo de calentamiento alimentado por diferentes combustibles (electricidad, gas, leña, etc.), y que al alcanzar hasta muy altas temperaturas, hace posible el horneado o quema de las piezas, para sancocho y también esmaltes. Muchos artesanos tradicionales o campesinos queman sus piezas en hoyos excavados en el suelo, o las cubren con tierra y piedras, y utilizan como combustible leña y otros materiales. Hay infinidad de modelos de hornos, desde los improvisados con tambores o tanques metálicos, cubiertos con ladrillos refractarios, los de rakú, y los grandes hornos continuos o de túnel de la cerámica industrial, donde las piezas entran en pequeños vagones, como trenes, pasan a lo largo de muchos metros por las diferentes temperaturas, y al final del túnel salen quemadas o barnizadas, según de que se trate.
- **Loza:** Cerámica de arcilla con vidriado estannífero, conocida por la civilización de Extremo Oriente. En el siglo XIV, los árabes la introdujeron en Europa a través de España y, concretamente, de la isla de Mallorca. En Italia, la ciudad de Faenza se convirtió en el más importante centro de producción tanto que en Francia, donde fue importada por inmigrantes italianos, tomó el nombre de *faïence*. En Italia y Alemania, la cerámica de arcilla con esmalte estannífero se conoce como mayólica: de la isla de Mallorca, donde, hasta el siglo XIV, se producía en grandes cantidades.
- **Lustre:** Tipo de decoración de aspecto metálico. Es una mezcla de sales metálicas, resinas y nitrato de bismuto, que se aplica sobre una pieza barnizada para volverla a hornear a temperatura más baja.
- **Llaves o encastres:** Registros hechos en las piezas de los moldes, y que al unirse lo dejan completamente ajustado.
- **Mayólica:** Loza con vidriado de estaño que se hacía en Italia a partir del siglo XIV, a imitación de la artesanía islámica y que toma su nombre de la isla de Mallorca.
- **Merma:** Contracción de la arcilla durante el secado o cocción.

- **Molde:** Elemento generalmente de yeso, que contiene una forma hueca (el negativo de una forma), que será llenada con pasta en forma de suspensión líquida espesa, con lo que se obtendrá la forma positiva. El molde puede ser de una pieza o de varias, según lo complejo de la pieza; éstas se encastran unas con otras mediante unas pequeñas cuñas que en el lado contrario corresponden a hoyos. En este caso, para evitar que el molde se abra y el barro se escurra, se amarran firmemente con cuerdas o ligas de goma o hule. Se usan mucho las cámaras (cámara) de automóviles cortadas a lo ancho en círculos. También existen los llamados moldes de presión, que casi siempre deben ser de una sola pieza: en lugar de usar barro líquido espeso, se usan pequeñas tortas o planchas de barro más o menos plástico, apretándolas firmemente contra el molde hasta cubrirlo y obtener la pieza. Cuando se seca ligeramente la pasta, se puede retirar. El molde de presión suele tener forma cóncava, casi siempre, pero también se puede usar uno convexo.
- **Monococción:** Cocción de la pieza cruda con el barniz.
- **Opacificante:** Materia que se introduce en un barniz volviéndolo opaco. El óxido de estaño es el mejor opacificante, pero también se usan otros, como el óxido de circonio y de titanio.
- **Oxidación:** Tipo de cocción que permite la entrada del suficiente oxígeno en el horno durante ésta y eso hace que quede intacto el oxígeno que contienen los materiales que componen el barro y el esmalte, produciendo colores oxidantes.
- **Óxido:** Elemento que se combina con el oxígeno. Óxidos como los de cobre, cobalto y hierro se usan para dar color a barros y esmaltes.
- **Pasta:** Mezcla de varias arcillas, minerales y otras materias no plásticas.
- **Pie:** Base de muchas piezas torneadas. Es conveniente que quede libre de barniz, para evitar que al fundirse se pegue con la placa de soporte del horno.
- **Piel de naranja:** Barniz defectuoso y cuya superficie se presenta granulada y con pequeñas ondulaciones, parecida a la piel de naranja.
- **Pieza cruda o verde:** Recibe este nombre cuando está seca y espera la primera cocción.
- **Pirómetro:** Instrumento para medir la temperatura del horno.

- **Pulido:** Acción de pasar sobre la superficie de las piezas, duras o secas, un utensilio apropiado. También en las piezas torneadas en dureza de cuero.
- **Raku:** Técnica de cocción en que las piezas se sacan del horno cuando el esmalte está aún fundiendo y se sumergen en un material combustible como virutas de madera o paja. Produce reducciones localizadas.
Pasta cerámica con chamota que se cuece entre 800 y 1000 °C. Se barniza con un barniz de plomo. Se saca del horno cuando está al rojo, enfriándola rápidamente para reducirla.
- **Reducción:** Técnica de cocción que no permite la suficiente entrada de oxígeno en el horno para que tenga lugar una combustión completa. La carencia de oxígeno en la atmósfera del horno se suple por el de los materiales presentes en el barro y en el esmalte. Es el proceso contrario a la oxidación y produce una respuesta distinta a los óxidos colorantes; por ejemplo rojos de cobre.
- **Refractario:** Material muy resistente a la fusión y capaz de soportar altas temperaturas.
- **Rollos de Arcilla:** Láminas de arcilla que son puesta unas sobre otras al momento de moldear una figura.
- **Serigrafía:** Procedimiento de impresión por penetración de tinta a través de un tejido.
- **Sobre cubierta:** Técnica de decoración que consiste en aplicar óxidos colorantes o colorantes cerámicos sobre el esmalte crudo. Cuando se cuece, la decoración aplicada funde en el esmalte. También conocida como mayólica.
- **Tamizar:** Pasar una materia en estado líquido, en polvo o en forma de papilla por un tamiz, criba o cedazo.
- **Temmoku:** Nombre japonés de un tipo de cerámica en gres de color pardo-rojizo, cocida en atmósfera reductora.
- **Temperatura de madurez:** Temperatura a la cual una mezcla alcanza sus propiedades optimas.
- **Terracota:** Comprende todos los artículos de la cerámica porosa que no está recubierta con un vidriado. Cuele a bajas temperaturas (850 -1.040 °C) si tiene un color rojizo.

- **Torneado:** Realización de piezas en el torno.
- **Translucidez:** Característica de una porcelana o pasta muy fina que deja pasar la luz.
- **Vidriado:** Película vítrea que recubre los productos cerámicos (pasta ferruginosa y loza) pueden ser plúmbicos, alcalinos o borácicos; a los de alta temperatura (gres y porcelana) se les llama cubiertas (cubierta feldespática, por ejemplo). El vidriado puede ser decorativo o funcional.
- **Vitrificar:** fundir al horno el vidriado de las piezas de loza o alfarería. Acción que lleva a cabo el calor sobre el objeto al que se le ha aplicado una capa de barniz o cubierta y que, al final de la cochura, aparece recubierto por una capa impermeable parecida al vidrio. Acción de volverse vítreo un esmalte, esto es, duro como vidrio y antiabsorbente.

BIBLIOGRAFIA

- Baehr, Hans D.
“Tratado Moderno de Termodinámica”
Editorial José Monteso, primera edición
1965, Barcelona, España
- Fernández Chiti, Jorge
“El Libro del Ceramista”
Ediciones Condorhuasi, tercera edición
1983, Buenos Aires
- Flinn/Trojan
“Materiales de Ingeniería y sus Aplicaciones”
Editorial McGraw Hill, tercera edición
1991-1989, México
- Holman, J.P.
“Transferencia de Calor”
Editorial McGraw Hill, octava edición
1998, Madrid, España
- Smith, William F.
“Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales”
Editorial McGraw Hill, tercera edición
1998, Madrid, España
- Rouklove, Pedro
“Tecnología de la Cerámica y Materiales Refractarios”
Editorial Hispano Americana, primera edición
1949, Buenos Aires

ANEXOS

ANEXO 1

MINERAL	YACIMIENTO	CANTIDAD	UBICACIÓN	CARACTERÍSTICAS
Arcilla	Ilobasco	Gran volumen	Alrededores de Ilobasco.	Área = 15 km ² , espesor promedio de 0.5 m, volum. explotable de 4.5x10 ⁶ m ³ . Se utiliza, en parte, para fines cerámicos. Se sugiere remover una capa superficial de 10 cm de espesor y dejar un lecho de 10 cm para no contaminar las arcillas con escorias volcánicas.
	San Miguel	7.5x10 ⁶ m ³	Unos 15 km al Este de San Miguel, a ambos lados de la carretera Panamericana que conduce a la Unión, Lago Antiguo.	
	La Laguna	360,000 ton	Cerca del km 13 al Norte de Chalatenango, 1 km al Este de la población de La Laguna.	
	Ayagualo	2,000 ton	Km 14.5 de la carretera que conduce de S.S. hacia La Libertad.	

Tabla 1-A. Información de las arcillas en El Salvador. Referencia: "Inventario de Procesos para la obtención de Productos Químicos a partir de los Recursos Minerales existentes en El Salvador y diseño de un Proceso Seleccionado". Tesis UCA

ANEXO 1

MINERAL	YACIMIENTO	CANTIDAD	UBICACIÓN	CARACTERÍSTICA
Arcilla	San Antonio Silva	8x10 ⁶ m ³ Este, y 6x10 ⁶ m ³ Oeste	Entre el Cantón Miraflores del Departamento de San Miguel y el pueblo El Carmen del Departamento de La Unión.	Espesor = 0.5 a 3 m. Se presenta en forma de arcillas negras con alto contenido orgánico. Este depósito cuenta con intercalaciones de productos volcánicos y diatomita. La explotación se dificulta debido que el yacimiento esta cubierto de plantas y para obtener una arcilla más o menos pura hay que quitar esta vegetación y remover por lo menos 10 cm de espesor. El lecho de la arcilla esta formado por escorias volcánicas blancas, lo que impurifica el material. El mejor sitio para empezar una explotación será la parte Este de San Antonio Silva, debido a que posee las mejores condiciones.

Tabla 1-B. Información de las arcillas en El Salvador. Referencia: "Inventario de Procesos para la obtención de Productos Químicos a partir de los Recursos Minerales existentes en El Salvador y diseño de un Proceso Seleccionado". Tesis UCA

ANEXO 1

MINERAL	YACIMIENTO	CANTIDAD	UBICACIÓN	CARACTERÍSTICA
Arcilla	Puerto de Acajutla	63x10 ⁶ m ³	Esta a ambos lados de la carretera que conduce de Sonsonate a Acajutla, entre el desvío de la carretera del Litoral hacia La Libertad y la fábrica FERTICA, situada en la ciudad portuaria.	Es un yacimiento con alto contenido orgánico. Su color promedio es negro, las materias impuras que presenta son materiales orgánicos y pequeños fragmentos de rocas. Todo el depósito se encuentra cubierto de vegetación, principalmente de arbustos de morro y pastas de ganado. Es económicamente explotable. Se clasifica en arcillas misceláneas; para explotar el depósito es necesario limpiar la superficie del suelo hasta una profundidad de 10 cm, para eliminar la vegetación con todo y raíces.

Tabla 1-D. Información de las arcillas en El Salvador. Referencia: "Inventario de Procesos para la obtención de Productos Químicos a partir de los Recursos Minerales existentes en El Salvador y diseño de un Proceso Seleccionado". Tesis UCA.

ANEXO 1

MINERAL	YACIMIENTO	CANTIDAD	UBICACIÓN	CARACTERÍSTICAS
Arcilla	El Carmen	Gran volumen	En la carretera Panamericana entre San Miguel y la Unión cerca del km 164.5. Se extiende a lo largo de una quebrada hacia el Este.	Longitud = 40 m; espesor = 2 m. Caolín de buena calidad.
	Sin nombre	Gran volumen	Por debajo del depósito de cuarzo situado en las cercanías de la mina Gallardo. Se extiende a lo largo del margen izquierdo del Río. San Isidro, Departamento de Cabañas.	
	Sin nombre	Gran volumen	La cuenca del Río Lempa, al Oeste de Chalatenango.	
	Agua Shuca	Gran volumen	A 2 km al Sur del Playón de Ahuachapan.	

Tabla 1-E. Información de las arcillas en El Salvador. Referencia: "Inventario de Procesos para la obtención de Productos Químicos a partir de los Recursos Minerales existentes en El Salvador y diseño de un Proceso Seleccionado". Tesis UCA.

ANEXO 2: Flujograma del Proceso de Elaboración de Piezas Cerámicas

ELABORACION DE PIEZAS CERAMICAS

Preparación del barro o pasta



Modelado (Obtener la forma de la pieza)



(Al aire libre) **Secado** **Cochura** (200 – 300°C)



Decoración

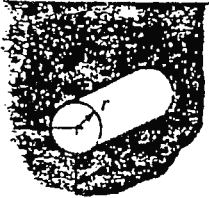

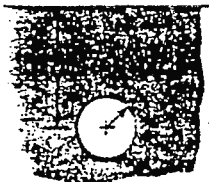



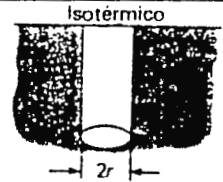




Vidriado
(1100°C)

Colocar
Calcomanías
(700-900°C)

ANEXO 3: Tabla Resume de las Características de Fibras Cerámicas más utilizadas En el mercado

Tipo Fibra	Productor	Marca	Composición (% Peso)	Diámetro (mm)	Densidad (gr/cm ³)	Resistencia (GPa)	Def. fractura (%)	Mód. Elástico (GPa)
SiC	Textron	SCS-6	SiC, núcleo carbono	140	2.7-3.3	3.4-4.0	0.8-1	427
	DRE	Sigma	SiC, núcleo Wolframio	100	3.4	3.4-4.1	0.8	400-410
B	Textron		Boro, núcleo Wolframio	100-140	2.57	3-6	1	380-400
Basadas en alúmina- α	Du Pont	FP	99.9% Al ₂ O ₃	20	3.92	1.2	0.29	414
	Du Pont	PRD 166	80% Al ₂ O ₃ 20% SiO ₂	20	4.2	1.46	0.4	366
	Mitsui Mining	Almax	99.9% Al ₂ O ₃	10	3.6	1.02	0.3	344
	3M	610	99% Al ₂ O ₃ 0.2-0.3% SiO ₂ 0.4-0.7 Fe ₂ O ₃	10-12	3.75	1.9	0.5	370
Basadas en alúmina & Silice	ICI	Saffil	95% Al ₂ O ₃ 5% SiO ₂	1-5	3.2	2	0.67	300
	Sumitomo	Altex	85% Al ₂ O ₃ 15% SiO ₂	15	3.2	1.8	0.8	210
	3M	312	62% Al ₂ O ₃ 24% SiO ₂ 14% B ₂ O ₃	10-12 o 8-9	2.7	1.7	1.12	152
	3M	440	70% Al ₂ O ₃ 28% SiO ₂ 2% B ₂ O ₃	10-12	3.05	2.1	1.11	190
	3M	480	70% Al ₂ O ₃ 28% SiO ₂ 2% B ₂ O ₃	10-12	3.05	1.9	0.86	220
	3M	550	73% Al ₂ O ₃ 27% SiO ₂	10-12	3.03	2.2	0.98	220
	3M	720	85% Al ₂ O ₃ 15% SiO ₂	12	3.4	2.1	0.81	260
Basadas en Si-C	Nippon Carbon	Nicalon	56.6% Si	14	2.55	2.0	1.05	190
		NLM 202	31.7% C 11.7% O					
	Nippon Carbon	Hi-Nicalon	62.4% Si 37.1% C 0.5% O	14	2.74	2.6	1.0	263
	Ube Chemical	Tyranno LOX-M	54.0% Si 31.6% C 12.4% O 2.0% Ti	8.5	2.37	2.5	1.4	180
Ube Chemical	Tyranno LOX-E	54.8% Si 37.5% C 5.8% O 1.9% Ti	11	2.39	2.9	1.45	199	
Si-N	Tonen	Tonen	Si N B		2.5	2.5	1	250
Basada en Si-N-C	Down Corning	HPZ	59% Si 28% N 10% C 3% O	10-12	2.3-2.5	1.7-2.1	1	180-230

Sistema físico	Esquemático	Factor de forma	Restricciones
Cilindro isotérmico de radio r sumergido en un medio semiinfinito que tiene superficie isotérmica		$\frac{2\pi L}{\cosh^{-1}(D/r)}$	$L \gg r$
		$\frac{2\pi L}{\ln(2D/r)}$	$L \gg r$ $D > 3r$
		$\frac{2\pi L}{\ln \frac{L}{r} \left\{ 1 - \frac{\ln \{L/(2D)\}}{\ln(L/r)} \right\}}$	$D \gg r$ $L \gg D$
Esfera isotérmica de radio r sumergida en un medio infinito		$4\pi r$	
Esfera isotérmica de radio r sumergida en un medio semiinfinito que tiene superficie isotérmica		$\frac{4\pi r}{1 - r/2D}$	
Conducción entre dos cilindros isotérmicos sumergidos en un medio infinito		$\frac{2\pi L}{\cosh^{-1} \left(\frac{D^2 - r_1^2 - r_2^2}{2r_1 r_2} \right)}$	$L \gg r$ $L \gg D$

Cilindro isotérmico de radio r colocado en un medio semiinfinito como se muestra		$\frac{2\pi L}{\ln(2L/r)}$	$L \gg 2r$
Paralelepípedo rectangular isotérmico sumergido en un medio semiinfinito que tiene superficie isotérmica		$1.685L \left[\log \left(1 + \frac{b}{a} \right) \right]^{-0.59} \left(\frac{b}{c} \right)^{-0.074}$	Véase Ref. 7
Pared plana		$\frac{A}{L}$	Flujo de calor unidimensional
Cilindro hueco longitud L		$\frac{2\pi L}{\ln(r_o/r_i)}$	$L \gg r$
Esfera hueca		$\frac{4\pi r_o r_i}{r_o - r_i}$	

ANEXO 4b: propiedades de Aire a Presión Atmosférica

T, K	ρ kg/m ³	c_p kJ/kg °C	μ kg/m·s × 10 ⁴	ν m ² /s × 10 ⁴	k W/m °C	α m ² /s × 10 ⁴	\Pr
100	3.6010	1.0266	0.6924	1.923	0.009246	0.02501	0.770
150	2.3675	1.0099	1.0283	4.343	0.013735	0.05745	0.753
200	1.7684	1.0061	1.3289	7.490	0.01809	0.10165	0.739
250	1.4128	1.0053	1.488	9.49	0.02227	0.13161	0.722
300	1.1774	1.0057	1.583	10.84	0.02624	0.22160	0.708
350	0.9980	1.0080	2.076	20.76	0.03003	0.2983	0.697
400	0.8826	1.0140	2.286	25.90	0.03365	0.3760	0.689
450	0.7833	1.0207	2.484	31.71	0.03707	0.4222	0.683
500	0.7048	1.0295	2.671	37.90	0.04038	0.5564	0.680
550	0.6423	1.0392	2.848	44.34	0.04360	0.8532	0.680
600	0.5879	1.0551	3.018	51.34	0.04659	0.7512	0.680
650	0.5430	1.0635	3.177	58.51	0.04953	0.8578	0.682
700	0.5030	1.0752	3.332	66.25	0.05230	0.9672	0.684
750	0.4709	1.0856	3.481	73.91	0.05509	1.0774	0.686
800	0.4405	1.0978	3.626	82.29	0.05779	1.1951	0.689
850	0.4149	1.1095	3.765	90.75	0.06028	1.3097	0.692
900	0.3925	1.1212	3.899	99.3	0.06279	1.4271	0.696
950	0.3716	1.1321	4.023	108.2	0.06526	1.6510	0.699
1000	0.3524	1.1417	4.152	117.8	0.06752	1.6779	0.702
1100	0.3204	1.160	4.44	138.6	0.0732	1.969	0.704
1200	0.2947	1.179	4.69	169.1	0.0782	2.261	0.707
1300	0.2707	1.197	4.93	182.1	0.0817	2.683	0.705
1400	0.2515	1.214	5.17	205.5	0.0891	2.920	0.705
1500	0.2355	1.230	5.40	229.1	0.0946	3.262	0.705
1600	0.2211	1.248	5.63	254.5	0.100	3.609	0.705
1700	0.2082	1.267	5.85	280.5	0.105	3.977	0.705
1800	0.1970	1.287	6.07	308.1	0.111	4.379	0.704
1900	0.1858	1.309	6.29	338.5	0.117	4.811	0.704
2000	0.1762	1.338	6.50	369.0	0.124	5.260	0.702
2100	0.1682	1.372	6.72	399.6	0.131	5.716	0.700
2200	0.1602	1.419	6.93	432.6	0.139	6.120	0.707
2300	0.1538	1.482	7.14	464.0	0.149	6.540	0.710
2400	0.1458	1.574	7.35	504.0	0.161	7.020	0.718
2500	0.1394	1.688	7.57	543.5	0.175	7.441	0.730

* De Natl. Bur. Stand. (U.S.) Circ. 564, 1955.

ANEXO 4c: Ecuaciones simplificadas para el Coeficiente de Transferencia de Calor

<i>Superficie</i>	<i>Laminar</i> $10^4 < Gr_f Pr_f < 10^9$	<i>Turbulento</i> $Gr_f Pr_f > 10^9$
Plano o cilindro vertical	$h = 1.42 \left(\frac{\Delta T}{L} \right)^{1/4}$	$h = 0.95 (\Delta T)^{1/3}$
Cilindro horizontal	$h = 1.32 \left(\frac{\Delta T}{d} \right)^{1/4}$	$h = 1.24 (\Delta T)^{1/3}$
Placa horizontal		
Placa caliente hacia arriba o placa fría hacia abajo	$h = 1.32 \left(\frac{\Delta T}{L} \right)^{1/4}$	$h = 1.43 (\Delta T)^{1/3}$
Placa caliente hacia abajo o placa fría hacia arriba	$h = 0.61 \left(\frac{\Delta T}{L^2} \right)^{1/5}$	$h = 0.61 \left(\frac{\Delta T}{L^2} \right)^{1/5}$

donde h = coeficiente de transferencia de calor, $W/m^2 \cdot ^\circ C$ o $Btu/h \cdot pie^2 \cdot ^\circ F$

$$\Delta T = T_w - T_\infty, \text{ } ^\circ C$$

L = dimensión vertical u horizontal (la media de las dos dimensiones para una superficie rectangular y $0.9d$ para un disco circular), m.

d = diámetro, m.

ANEXO 5a: Tabla con valores de Entalpía de Formación para algunos Gases

Valores de la entalpía de formación, de la función de Gibbs de formación, de la entropía absoluta y de la entalpía de vaporización a 25°C y 1 atm

Δh_f° , Δg_f° , y h_{fg} en kJ/kgmol; s° en kJ/(kgmol · K)

Sustancia	Fórmula	Δh_f°	Δg_f°	s°	h_{fg}
Carbono	C(s)	0	0	5.74	
Hidrógeno	H ₂ (g)	0	0	130.57	
Nitrógeno	N ₂ (g)	0	0	191.50	
Oxígeno	O ₂ (g)	0	0	205.04	
Monóxido de carbono	CO(g)	-110,530	-137,150	197.56	
Dióxido de carbono	CO ₂ (g)	-393,520	-394,380	213.67	
Agua	H ₂ O(g)	-241,820	-228,590	188.72	
Agua	H ₂ O(l)	-285,830	-237,180	69.95	44,010
Peróxido de hidrógeno	H ₂ O ₂ (g)	-136,310	-105,600	232.63	61,090
Amoniaco	NH ₃ (g)	-46,190	-16,590	192.33	
Oxígeno	O(g)	249,170	231,770	160.95	
Hidrógeno	H(g)	218,000	203,290	114.61	
Nitrógeno	N(g)	472,680	455,510	153.19	
Hidroxilo	OH(g)	39,040	34,280	183.75	
Metano	CH ₄ (g)	-74,850	-50,790	186.16	
Acetileno (etino)	C ₂ H ₂ (g)	226,730	209,170	200.85	
Etileno (eteno)	C ₂ H ₄ (g)	52,280	68,120	219.83	
Etano	C ₂ H ₆ (g)	-84,680	-32,890	229.49	
Propileno (propeno)	C ₃ H ₆ (g)	20,410	62,720	266.94	
Propano	C ₃ H ₈ (g)	-103,850	-23,490	269.91	15,060
n-butano	C ₄ H ₁₀ (g)	-126,150	-15,710	310.03	21,060
n-pentano	C ₅ H ₁₂ (g)	-146,440	-8,200	348.40	31,410
n-octano	C ₈ H ₁₈ (g)	-208,450	17,320	463.67	41,460
n-octano	C ₈ H ₁₈ (l)	-249,910	6,610	360.79	
Benceno	C ₆ H ₆ (g)	82,930	129,660	269.20	33,830
Alcohol metílico	CH ₃ OH(g)	-200,890	-162,140	239.70	37,900
Alcohol metílico	CH ₃ OH(l)	-238,810	-166,290	126.80	
Alcohol etílico	C ₂ H ₅ OH(g)	-235,310	-168,570	282.59	42,340
Alcohol etílico	C ₂ H ₅ OH(l)	-277,690	-174,890	160.70	
Mercurio	Hg(l)	0	0	77.24	
Óxido de mercurio	HgO(c)	-90,210	-58,400	70.45	
Manganeso	Mn(c)	0	0	31.8	
Dióxido de manganeso	MnO ₂ (c)	-520,030	-465,180	53.14	
Trióxido de manganeso	Mn ₂ O ₃ (c)	-958,970	-881,150	110.5	
Plomo	Pb(c)	0	0	64.81	
Óxido de plomo	PbO ₂ (c)	-277,400	-217,360	68.6	
Sulfato de plomo	PbSO ₄ (c)	-919,940	-813,200	148.57	
Cinc	Zn(c)	0	0	41.63	
Óxido de cinc	ZnO(c)	-348,280	-318,320	43.64	
Ácido sulfúrico	H ₂ SO ₄ (l)	-813,990	-690,100	156.90	
Ácido sulfúrico	(ac, m = 1)	-909,270	-744,630	20.1	
Óxido de plata	Ag ₂ O(c)	-31,050	-11,200	121.7	

Fuentes: de las JANAF Thermochemical Tables, Dow Chemical CO., 1971; Selected Values of Chemical Thermodynamical Properties, NBS Technical Note 270-3, 1968, y API Research Project 44, Carnegie Press, 1953.

ANEXO 5b: Propiedades del Oxígeno Diatómico (O₂)

Entalpia, energía interna y entropía absoluta del oxígeno diatómico (O₂) como gas ideal

$$\Delta h_f = 0 \text{ kJ/kgmol}$$

$$T, \text{ K}; h \text{ y } u, \text{ kJ/kgmol}; s, \text{ kJ/(kgmol} \cdot \text{K)}$$

<i>T</i>	<i>h</i>	<i>u</i>	<i>s</i> ⁰	<i>T</i>	<i>h</i>	<i>u</i>	<i>s</i> ⁰
0	0	0	0	600	17,929	12,940	226.346
220	6.404	4,575	196.171	610	18,250	13,178	226.877
230	6.694	4,782	197.461	620	18,572	13,417	227.400
240	6.984	4,989	198.696	630	18,895	13,657	227.918
250	7.275	5,197	199.885	640	19,219	13,898	228.429
260	7.566	5,405	201.027	650	19,544	14,140	228.932
270	7.858	5,613	202.128	660	19,870	14,383	229.430
280	8.150	5,822	203.191	670	20,197	14,626	229.920
290	8.443	6,032	204.218	680	20,524	14,871	230.405
298	8.682	6,203	205.033	690	20,854	15,116	230.885
300	8.736	6,242	205.213	700	21,184	15,364	231.358
310	9.030	6,453	206.177	710	21,514	15,611	231.827
320	9.325	6,664	207.112	720	21,845	15,859	232.291
330	9.620	6,877	208.020	730	22,177	16,107	232.748
340	9.916	7,090	208.904	740	22,510	16,357	233.201
350	10.213	7,303	209.765	750	22,844	16,607	233.649
360	10.511	7,518	210.604	760	23,178	16,859	234.091
370	10.809	7,733	211.423	770	23,513	17,111	234.528
380	11.109	7,949	212.222	780	23,850	17,364	234.960
390	11.409	8,166	213.002	790	24,186	17,618	235.387
400	11.711	8,384	213.765	800	24,523	17,872	235.810
410	12.012	8,603	214.510	810	24,861	18,126	236.230
420	12.314	8,822	215.241	820	25,199	18,382	236.644
430	12.618	9,043	215.955	830	25,537	18,637	237.055
440	12.923	9,264	216.656	840	25,877	18,893	237.462
450	13.228	9,487	217.342	850	26,218	19,150	237.864
460	13.535	9,710	218.016	860	26,559	19,408	238.264
470	13.842	9,935	218.676	870	26,899	19,666	238.660
480	14.151	10,160	219.326	880	27,242	19,925	239.051
490	14.460	10,386	219.963	890	27,584	20,185	239.439
500	14.770	10,614	220.589	900	27,928	20,445	239.823
510	15.082	10,842	221.206	910	28,272	20,706	240.203
520	15.395	11,071	221.812	920	28,616	20,967	240.580
530	15,708	11,301	222.409	930	28,960	21,228	240.953
540	16,022	11,533	222.997	940	29,306	21,491	241.323
550	16,338	11,765	223.576	950	29,652	21,754	241.689
560	16,654	11,998	224.146	960	29,999	22,017	242.052
570	16,971	12,232	224.708	970	30,345	22,280	242.411
580	17,290	12,467	225.262	980	30,692	22,544	242.768
590	17,609	12,703	225.808	990	31,041	22,809	243.120

ANEXO 5b: Propiedades del Oxígeno Diatómico (O₂)

<i>T</i>	<i>h</i>	<i>u</i>	<i>s</i> ^o	<i>T</i>	<i>h</i>	<i>u</i>	<i>s</i> ^o
1000	31,389	23,075	243.471	1760	58,880	44,247	263.861
1020	32,088	23,607	244.164	1780	59,624	44,825	264.283
1040	32,789	24,142	244.844	1800	60,371	45,405	264.701
1060	33,490	24,677	245.513	1820	61,118	45,986	265.113
1080	34,194	25,214	246.171	1840	61,866	46,568	265.521
1100	34,899	25,753	246.818	1860	62,616	47,151	265.925
1120	35,606	26,294	247.454	1880	63,365	47,734	266.326
1140	36,314	26,836	248.081	1900	64,116	48,319	266.722
1160	37,023	27,379	248.698	1920	64,868	48,904	267.115
1180	37,734	27,923	249.307	1940	65,620	49,490	267.505
1200	38,447	28,469	249.906	1960	66,374	50,078	267.891
1220	39,162	29,018	250.497	1980	67,127	50,665	268.275
1240	39,877	29,568	251.079	2000	67,881	51,253	268.655
1260	40,594	30,118	251.653	2050	69,772	52,727	269.588
1280	41,312	30,670	252.219	2100	71,668	54,208	270.504
1300	42,033	31,224	252.776	2150	73,573	55,697	271.399
1320	42,753	31,778	253.325	2200	75,484	57,192	272.278
1340	43,475	32,334	253.868	2250	77,397	58,690	273.136
1360	44,198	32,891	254.404	2300	79,316	60,193	273.981
1380	44,923	33,449	254.932	2350	81,243	61,704	274.809
1400	45,648	34,008	255.454	2400	83,174	63,219	275.625
1420	46,374	34,567	255.968	2450	85,112	64,742	276.424
1440	47,102	35,129	256.475	2500	87,057	66,271	277.207
1460	47,831	35,692	256.978	2550	89,004	67,802	277.979
1480	48,561	36,256	257.474	2600	90,956	69,339	278.738
1500	49,292	36,821	257.965	2650	92,916	70,883	279.485
1520	50,024	37,387	258.450	2700	94,881	72,433	280.219
1540	50,756	37,952	258.928	2750	96,852	73,987	280.942
1560	51,490	38,520	259.402	2800	98,826	75,546	281.654
1580	52,224	39,088	259.870	2850	100,808	77,112	282.357
1600	52,961	39,658	260.333	2900	102,793	78,682	283.048
1620	53,696	40,227	260.791	2950	104,785	80,258	283.728
1640	54,434	40,799	261.242	3000	106,780	81,837	284.399
1660	55,172	41,370	261.690	3050	108,778	83,419	285.060
1680	55,912	41,944	262.132	3100	110,784	85,009	285.713
1700	56,652	42,517	262.571	3150	112,795	86,601	286.355
1720	57,394	43,093	263.005	3200	114,809	88,203	286.989
1740	58,136	43,669	263.435	3250	116,827	89,804	287.614

Fuente: basado en los datos de las JANAF Thermochemical Tables, NSRDS-NBS-37, 1971.

ANEXO 5c: Propiedades del Nitrógeno Diatómico (N₂)

Entalpía, energía interna y entropía absoluta del nitrógeno diatómico (N₂) como gas ideal

$$\Delta h_f = 0 \text{ kJ/kgmol}$$

T, K; h y u, kJ/kgmol; s, kJ/(kgmol·K)

T	h	u	s ^o	T	h	u	s ^o
0	0	0	0	600	17,563	12,574	212.066
220	6,391	4,562	182.639	610	17,864	12,792	212.564
230	6,683	4,770	183.938	620	18,166	13,011	213.055
240	6,975	4,979	185.180	630	18,468	13,230	213.541
250	7,266	5,188	186.370	640	18,772	13,450	214.018
260	7,558	5,396	187.514	650	19,075	13,671	214.489
270	7,849	5,604	188.614	660	19,380	13,892	214.954
280	8,141	5,813	189.673	670	19,685	14,114	215.413
290	8,432	6,021	190.695	680	19,991	14,337	215.866
298	8,669	6,190	191.502	690	20,297	14,560	216.314
300	8,723	6,229	191.682	700	20,604	14,784	216.756
310	9,014	6,437	192.638	710	20,912	15,008	217.192
320	9,306	6,645	193.562	720	21,220	15,234	217.624
330	9,597	6,853	194.459	730	21,529	15,460	218.059
340	9,888	7,061	195.328	740	21,839	15,686	218.472
350	10,180	7,270	196.173	750	22,149	15,913	218.889
360	10,471	7,478	196.995	760	22,460	16,141	219.301
370	10,763	7,687	197.794	770	22,772	16,370	219.709
380	11,055	7,895	198.572	780	23,085	16,599	220.113
390	11,347	8,104	199.331	790	23,398	16,830	220.512
400	11,640	8,314	200.071	800	23,714	17,061	220.907
410	11,932	8,523	200.794	810	24,027	17,292	221.298
420	12,225	8,733	201.499	820	24,342	17,524	221.684
430	12,518	8,943	202.189	830	24,658	17,757	222.067
440	12,811	9,153	202.863	840	24,974	17,990	222.447
450	13,105	9,363	203.523	850	25,292	18,224	222.822
460	13,399	9,574	204.170	860	25,610	18,459	223.194
470	13,693	9,786	204.803	870	25,928	18,695	223.562
480	13,988	9,997	205.424	880	26,248	18,931	223.927
490	14,285	10,210	206.033	890	26,568	19,168	224.288
500	14,581	10,423	206.630	900	26,890	19,407	224.647
510	14,876	10,635	207.216	910	27,210	19,644	225.002
520	15,172	10,848	207.792	920	27,532	19,883	225.353
530	15,469	11,062	208.358	930	27,854	20,122	225.701
540	15,766	11,277	208.914	940	28,178	20,362	226.047
550	16,064	11,492	209.461	950	28,501	20,603	226.389
560	16,363	11,707	209.999	960	28,826	20,844	226.728
570	16,662	11,923	210.528	970	29,151	21,086	227.064
580	16,962	12,139	211.049	980	29,476	21,328	227.398
590	17,262	12,356	211.562	990	29,803	21,571	227.728

ANEXO 5c: Propiedades del Nitrógeno Diatómico (N₂)

<i>T</i>	<i>h</i>	<i>u</i>	<i>s</i> ⁰	<i>T</i>	<i>h</i>	<i>u</i>	<i>s</i> ⁰
1000	30.129	21.815	228.057	1760	56,227	41.594	247.396
1020	30,784	22,304	228.706	1780	56,938	42,139	247.798
1040	31,442	22,795	229.344	1800	57,651	42,685	248.195
1060	32,101	23,288	229.973	1820	58,363	43,231	248.589
1080	32,762	23,782	230.591	1840	59,075	43,777	248.979
1100	33,426	24,280	231.199	1860	59,790	44,324	249.365
1120	34,092	24,780	231.799	1880	60,504	44,873	249.748
1140	34,760	25,282	232.391	1900	61,220	45,423	250.128
1160	35,430	25,786	232.973	1920	61,936	45,973	250.502
1180	36,104	26,291	233.549	1940	62,654	46,524	250.874
1200	36,777	26,799	234.115	1960	63,381	47,075	251.242
1220	37,452	27,308	234.673	1980	64,090	47,627	251.607
1240	38,129	27,819	235.223	2000	64,810	48,181	251.969
1260	38,807	28,331	235.766	2050	66,612	49,567	252.858
1280	39,488	28,845	236.302	2100	68,417	50,957	253.726
1300	40,170	29,361	236.831	2150	70,226	52,351	254.578
1320	40,853	29,878	237.353	2200	72,040	53,749	255.412
1340	41,539	30,398	237.867	2250	73,856	55,149	256.227
1360	42,227	30,919	238.376	2300	75,676	56,553	257.027
1380	42,915	31,441	238.878	2350	77,496	57,958	257.810
1400	43,605	31,964	239.375	2400	79,320	59,366	258.580
1420	44,295	32,489	239.865	2450	81,149	60,779	259.332
1440	44,988	33,014	240.350	2500	82,981	62,195	260.073
1460	45,682	33,543	240.827	2550	84,814	63,613	260.799
1480	46,377	34,071	241.301	2600	86,650	65,033	261.512
1500	47,073	34,601	241.768	2650	88,488	66,455	262.213
1520	47,771	35,133	242.228	2700	90,328	67,880	262.902
1540	48,470	35,665	242.685	2750	92,171	69,306	263.577
1560	49,168	36,197	243.137	2800	94,014	70,734	264.241
1580	49,869	36,732	243.585	2850	95,859	72,163	264.895
1600	50,571	37,268	244.028	2900	97,705	73,593	265.538
1620	51,275	37,806	244.464	2950	99,556	75,028	266.170
1640	51,980	38,344	244.896	3000	101,407	76,464	266.793
1660	52,686	38,884	245.324	3050	103,260	77,902	267.404
1680	53,393	39,424	245.747	3100	105,115	79,341	268.007
1700	54,099	39,965	246.166	3150	106,972	80,782	268.601
1720	54,807	40,507	246.580	3200	108,830	82,224	269.186
1740	55,516	41,049	246.990	3250	110,690	83,668	269.763

Fuente: basado en los datos de las JANAF Thermochemical Tables, NSRDS-NBS-37, 1971.

ANEXO 5d: Propiedades del Dióxido de Carbono (CO₂)

Entalpía, energía interna y entropía absoluta del dióxido de carbono (CO₂) como gas ideal

$$\Delta h_f = -393,520 \text{ kJ/kgmol}$$

T, K; h y u, kJ/kgmol; s, kJ/(kgmol·K)

0	0	0	0	600	22,280	17,291	243.199
220	6,601	4,772	202.966	610	22,754	17,683	243.983
230	6,938	5,026	204.464	620	23,231	18,076	244.758
240	7,280	5,285	205.920	630	23,709	18,471	245.524
250	7,627	5,548	207.337	640	24,190	18,869	246.282
260	7,979	5,817	208.717	650	24,674	19,270	247.032
270	8,335	6,091	210.062	660	25,160	19,672	247.773
280	8,697	6,369	211.376	670	25,648	20,078	248.507
290	9,063	6,651	212.660	680	26,138	20,484	249.233
298	9,364	6,885	213.685	690	26,631	20,894	249.952
300	9,431	6,939	213.915	700	27,125	21,305	250.663
310	9,807	7,230	215.146	710	27,622	21,719	251.368
320	10,186	7,526	216.351	720	28,121	22,134	252.065
330	10,570	7,826	217.534	730	28,622	22,552	252.755
340	10,959	8,131	218.694	740	29,124	22,972	253.439
350	11,351	8,439	219.831	750	29,629	23,393	254.117
360	11,748	8,752	220.948	760	30,135	23,817	254.787
370	12,148	9,068	222.044	770	30,644	24,242	255.452
380	12,552	9,392	223.122	780	31,154	24,669	256.110
390	12,960	9,718	224.182	790	31,665	25,097	256.762
400	13,372	10,046	225.225	800	32,179	25,527	257.408
410	13,787	10,378	226.250	810	32,694	25,959	258.048
420	14,206	10,714	227.258	820	33,212	26,394	258.682
430	14,628	11,053	228.252	830	33,730	26,829	259.311
440	15,054	11,393	229.230	840	34,251	27,267	259.934
450	15,483	11,742	230.194	850	34,773	27,706	260.551
460	15,916	12,091	231.144	860	35,296	28,125	261.164
470	16,351	12,444	232.080	870	35,821	28,588	261.770
480	16,791	12,800	233.004	880	36,347	29,031	262.371
490	17,232	13,158	233.916	890	36,876	29,476	262.968
500	17,678	13,521	234.814	900	37,405	29,922	263.559
510	18,126	13,885	235.700	910	37,935	30,369	264.146
520	18,576	14,253	236.575	920	38,467	30,818	264.728
530	19,029	14,622	237.439	930	39,000	31,268	265.304
540	19,485	14,996	238.292	940	39,535	31,719	265.877
550	19,945	15,372	239.135	950	40,070	32,171	266.444
560	20,407	15,751	239.962	960	40,607	32,625	267.007
570	20,870	16,131	240.789	970	41,145	33,081	267.566
580	21,337	16,515	241.602	980	41,685	33,537	268.119
590	21,807	16,902	242.405	990	42,226	33,995	268.670

ANEXO 5d: Propiedades del Dióxido de Carbono (CO₂)

<i>T</i>	<i>v_g</i>	<i>v_l</i>	<i>v_o</i>	<i>T</i>	<i>h</i>	<i>u</i>	<i>s^o</i>
1000	42.769	34.455	269.215	1760	86,420	71,787	301.543
1020	43,859	35,378	270.293	1780	87,612	72,812	302.271
1040	44,953	36,306	271.354	1800	88,806	73,840	302.884
1060	46,051	37,238	272.400	1820	90,000	74,868	303.544
1080	47,153	38,174	273.430	1840	91,196	75,897	304.198
1100	48,258	39,112	274.445	1860	92,394	76,929	304.845
1120	49,369	40,057	275.444	1880	93,593	77,962	305.487
1140	50,484	41,006	276.430	1900	94,793	78,996	306.122
1160	51,602	41,957	277.403	1920	95,995	80,031	306.751
1180	52,724	42,913	278.362	1940	97,197	81,067	307.374
1200	53,848	43,871	279.307	1960	98,401	82,105	307.992
1220	54,977	44,834	280.238	1980	99,606	83,144	308.604
1240	56,108	45,799	281.158	2000	100,804	84,185	309.210
1260	57,244	46,768	282.066	2050	103,835	86,791	310.701
1280	58,381	47,739	282.962	2100	106,864	89,404	312.160
1300	59,522	48,713	283.847	2150	109,898	92,023	313.589
1320	60,666	49,691	284.722	2200	112,939	94,648	314.988
1340	61,813	50,672	285.586	2250	115,984	97,277	316.356
1360	62,963	51,656	286.439	2300	119,035	99,912	317.695
1380	64,116	52,643	287.283	2350	122,091	102,552	319.011
1400	65,271	53,631	288.106	2400	125,152	105,197	320.302
1420	66,427	54,621	288.934	2450	128,219	107,849	321.566
1440	67,586	55,614	289.743	2500	131,290	110,504	322.808
1460	68,748	56,609	290.542	2550	134,368	113,166	324.026
1480	69,911	57,606	291.333	2600	137,449	115,832	325.222
1500	71,078	58,606	292.114	2650	140,533	118,500	326.396
1520	72,246	59,609	292.888	2700	143,620	121,172	327.549
1540	73,417	60,613	292.654	2750	146,713	123,849	328.684
1560	74,590	61,620	294.411	2800	149,808	126,528	329.800
1580	76,767	62,630	295.161	2850	152,908	129,212	330.896
1600	76,944	63,741	295.901	2900	156,009	131,898	331.975
1620	78,123	64,653	296.632	2950	159,117	134,589	333.037
1640	79,303	65,668	297.356	3000	162,226	137,283	334.084
1660	80,486	66,592	298.072	3050	165,341	139,982	335.114
1680	81,670	67,702	298.781	3100	168,456	142,681	336.126
1700	82,856	68,721	299.482	3150	171,576	145,385	337.124
1720	84,043	69,742	300.177	3200	174,695	148,089	338.109
1740	85,231	70,764	300.863	3250	177,822	150,801	339.069

Fuente: basado en los datos de las JANAF Thermochemical Tables, NSRDS-NBS-37, 1971.

ANEXO 5e: Propiedades del Agua (H₂O)

Entalpia, energia interna y entropia absoluta del agua (H₂O)

$$\Delta h_f = -241,820 \text{ kJ/kgmol}$$

T, K; h y u, kJ/kgmol; s, kJ/(kgmol·K)

T	h	u	s ^o	T	h	u	s ^o
0	0	0	0	600	20,402	15,413	212,920
220	7,295	5,466	178,576	610	20,765	15,693	213,529
230	7,628	5,715	180,054	620	21,130	15,975	214,122
240	7,961	5,965	181,471	630	21,495	16,257	214,707
250	8,294	6,215	182,831	640	21,862	16,541	215,285
260	8,627	6,466	184,139	650	22,230	16,826	215,856
270	8,961	6,716	185,399	660	22,600	17,112	216,419
280	9,296	6,968	186,616	670	22,970	17,399	216,976
290	9,631	7,219	187,791	680	23,342	17,688	217,527
298	9,904	7,425	188,720	690	23,714	17,978	218,071
300	9,966	7,472	188,928	700	24,088	18,268	218,610
310	10,302	7,725	190,030	710	24,464	18,561	219,142
320	10,639	7,978	191,098	720	24,840	18,854	219,668
330	10,976	8,232	192,136	730	25,218	19,148	220,189
340	11,314	8,487	193,144	740	25,597	19,444	220,707
350	11,652	8,742	194,125	750	25,977	19,741	221,215
360	11,992	8,998	195,081	760	26,358	20,039	221,720
370	12,331	9,255	196,012	770	26,741	20,339	222,221
380	12,672	9,513	196,920	780	27,125	20,639	222,717
390	13,014	9,771	197,807	790	27,510	20,941	223,207
400	13,356	10,030	198,673	800	27,896	21,245	223,693
410	13,699	10,290	199,521	810	28,284	21,549	224,174
420	14,043	10,551	200,350	820	28,672	21,855	224,651
430	14,388	10,813	201,160	830	29,062	22,162	225,123
440	14,734	11,075	201,955	840	29,454	22,470	225,592
450	15,080	11,339	202,734	850	29,846	22,779	226,057
460	15,428	11,603	203,497	860	30,240	23,090	226,517
470	15,777	11,869	204,247	870	30,635	23,402	226,973
480	16,126	12,135	204,982	880	31,032	23,715	227,426
490	16,477	12,403	205,705	890	31,429	24,029	227,875
500	16,828	12,671	206,413	900	31,828	24,345	228,321
510	17,181	12,940	207,112	910	32,228	24,662	228,763
520	17,534	13,211	207,799	920	32,629	24,980	229,202
530	17,889	13,482	208,475	930	33,032	25,300	229,637
540	18,245	13,755	209,139	940	33,436	25,621	230,070
550	18,601	14,028	209,795	950	33,841	25,943	230,499
560	18,959	14,303	210,440	960	34,247	26,265	230,924
570	19,318	14,579	211,075	970	34,653	26,588	231,347
580	19,678	14,856	211,702	980	35,061	26,913	231,767
590	20,039	15,134	212,320	990	35,472	27,240	232,184

ANEXO 5e: Propiedades del Agua (H₂O)

1000	35,882	27,568	232,597	1760	70,535	55,902	258,151
1020	36,709	28,228	233,415	1780	71,523	56,723	258,708
1040	37,542	28,895	234,223	1800	72,513	57,547	259,262
1060	38,380	29,567	235,020	1820	73,507	58,375	259,811
1080	39,223	30,243	235,806	1840	74,506	59,207	260,357
1100	40,071	30,925	236,584	1860	75,506	60,042	260,898
1120	40,923	31,611	237,352	1880	76,511	60,880	261,436
1140	41,780	32,301	238,110	1900	77,517	61,720	261,969
1160	42,642	32,997	238,859	1920	78,527	62,564	262,497
1180	43,509	33,698	239,600	1940	79,540	63,411	263,022
1200	44,380	34,403	240,333	1960	80,555	64,259	263,542
1220	45,256	35,112	241,057	1980	81,573	65,111	264,059
1240	46,137	35,827	241,773	2000	82,593	65,965	264,571
1260	47,022	36,546	242,482	2050	85,156	68,111	265,838
1280	47,912	37,270	243,183	2100	87,735	70,275	267,081
1300	48,807	38,000	243,877	2150	90,330	72,454	268,301
1320	49,707	38,732	244,564	2200	92,940	74,649	269,500
1340	50,612	39,470	245,243	2250	95,562	76,855	270,679
1360	51,521	40,213	245,915	2300	98,199	79,076	271,839
1380	52,434	40,960	246,582	2350	100,846	81,308	272,978
1400	53,351	41,711	247,241	2400	103,508	83,553	274,098
1420	54,273	42,466	247,895	2450	106,183	85,811	275,201
1440	55,198	43,226	248,543	2500	108,868	88,082	276,286
1460	56,128	43,989	249,185	2550	111,565	90,364	277,354
1480	57,062	44,756	249,820	2600	114,273	92,656	278,407
1500	57,999	45,528	250,450	2650	116,991	94,958	279,441
1520	58,942	46,304	251,074	2700	119,717	97,269	280,462
1540	59,888	47,084	251,693	2750	122,453	99,588	281,464
1560	60,838	47,868	252,305	2800	125,198	101,917	282,453
1580	61,792	48,655	252,912	2850	127,952	104,256	283,429
1600	62,748	49,445	253,513	2900	130,717	106,605	284,390
1620	63,709	50,240	254,111	2950	133,486	108,959	285,338
1640	64,675	51,039	254,703	3000	136,264	111,321	286,273
1660	65,643	51,841	255,290	3050	139,051	113,692	287,194
1680	66,614	52,646	255,873	3100	141,846	116,072	288,102
1700	67,589	53,455	256,450	3150	144,648	118,458	288,999
1720	68,567	54,267	257,022	3200	147,457	120,851	289,884
1740	69,550	55,083	257,589	3250	150,272	123,250	290,756

Fuente: basado en los datos de las JANAF Thermochemical Tables, NSRDS-NBS-37, 1971.

ANEXO 6:

“Catálogo de Ladrillos Refractarios OXGASA”



REFRACTARIOS MEXICANOS, S.A. DE C.V.

INDRESCO



CATALOGO DE MATERIALES SILICO - ALUMINOSOS



CONCEPTO LADRILLOS	CONO PIROMETRICO ORTON	TEMP. °C	DENSIDAD PROMEDIO gr/cm ³	POROSIDAD APARENTE %	COMPRESION EN PLANO Kg/cm ²	MODULO DE RUPTURA Kg/cm ²	ALUMINA PROMEDIO %	SILICE PROMEDIO %
ALTA CALIDAD								
CROWN M	32-34	1700-1760	2.30	22.5	200.0	90.0	40.0	55.0
CROWN SM	32-33	1700-1745	2.17	12.0	288.0	126.0	38.0	56.0
REG	32-34	1700-1760	2.26	20.0	380.0	120.0	40.0	55.0
REG 18	32-34	1700-1760	2.30	14.0	404.0	140.0	40.0	55.0
CALIDAD SUPERIOR								
ALAMO SN M	32-34	1700-1760	2.20	22.0	175.0	110.0	40.0	55.0
ALAMO MK	32-34	1700-1760	2.28	16.0	310.0	120.0	42.0	54.0
VARNON XBF M	32-34	1700-1760	2.32	13.0	492.0	140.0	42.0	54.0
ULBRICK 45 *	33-34	1745-1760	2.30	12.0	703.0	80.0	45.0	52.0
ALTA ALUMINA								
ALADIN 50 M	33-35	1745-1785	2.34	18.0	263.0	105.0	56.0	36.0
ALADIN 70 M	37-39	1820-1865	2.65	19.0	369.0	123.0	69.0	19.0
ALADIN 80 M	38-39	1835-1865	2.69	20.0	457.0	140.0	81.0	13.0
ANCHOR M	36-37	1810-1820	2.45	20.0	335.0	105.0	60.0	35.0
UFALA LM	36-37	1810-1820	2.50	16.0	616.0	200.0	58.0	38.0
UFALA L.T.I. M 2	36-37	1810-1820	2.50	5.0	NA	210.0	58.0	37.0
BAUZITE M	38-39	1835-1865	2.67	20.0	387.0	123.0	75.0	17.0
ALUSITE XM	37-39	1820-1865	2.60	21.0	320.0	120.0	68.0	25.0
ULBRICK 70 *	37-38	1820-1835	2.64	18.0	843.0	218.0	71.0	24.0
MULLITE M	38-39	1835-1865	2.55	17.0	668.0	210.0	65.0	30.0
ALADIN HS M	38-39	1835-1865	2.69	20.0	457.0	140.0	81.0	13.0
EXTRA ALTA ALUMINA								
CORALITE M	38-40	1835-1885	2.78	20.0	600.0	148.0	85.0	10.0
CORAL BP M 1	38-40	1835-1885	2.76	15.0	1055.0	253.0	85.0	10.0
AP 85 1	38-40	1835-1885	2.90	14.0	920.0	260.0	85.0	10.0
KORUNDAL PM 1	+40	+1885	2.99	14.0	1055.0	246.0	90.0	10.0
KORUNDAL XP M 1	+40	+1885	2.92	13.0	915.0	197.0	89.0	8.0
ALMEX 90 PD 6	+40	+1885	3.0	17.0	NA	NA	90.0	9.0
VARIOS								
C5 AR 3	15-19	1410-1450	2.10	14.0	404.0	105.0	22.0	71.0
IC 25 4	23-26	1580-1595	2.15	21.0	NA	NA	37.0	47.0
IC 40 5	32-33	1700-1745	2.15	18.0	NA	NA	40.0	55.0

1 = LIGA FOSFORICA 2 = IMPREGNADO 3 = ACIDO RESISTENTE 4 = PIEZAS PARA H. TUNEL 5 = PIEZAS PARA V. DE ACERO
 * = TENTATIVOS 6 = MATERIAL PARA PLACAS DESLIZANTES NA = NO APLICA

CONCEPTO LADRILLOS AISLANTES	TEMP. °C	DENSIDAD PROMEDIO gr/cm ³	COMPRESION EN PLANO Kg/cm ²	MODULO DE RUPTURA Kg/cm ²	ALUMINA PROMEDIO %	SILICE PROMEDIO %
T-20	1095	0.65	28.0	13.0	11.0	64.0
T-23	1260	0.77	30.0	14.0	34.0	49.0
T-23 Q	1260	0.85	35.0	18.0	34.0	49.0
T-26	1425	1.00	52.0	21.0	55.0	39.0
T-28	1535	1.10	55.0	25.0	60.0	30.0
T-30	1650	0.90	56.0	23.0	70.0	25.0
T-33	1815	1.29	88.0	35.0	75.0	22.0
T-711	1095	1.24	54.0	33.0	39.0	55.0

EMPAQUE: LOS LADRILLOS AISLANTES DE LA SERIE 9 X 4 1/2 X 2 1/2" EN CAJA CON 25 PZAS.
LOS DE LA SERIE 9 X 4 1/2 X 3" EN CAJA CON 20 PZAS.

CONCEPTO MORTEROS	TEMP. °C MAXIMA DE OPERACION	TIPO		FRAGUADO		ENVASE/Kg		CANTIDAD PARA PEGAR 1000 LAD. 9 X 4 1/2 X 2 1/2	ALUMINA PROMEDIO %	SILICE PROMEDIO %	VIDA ALMACEN (MESES)	CLASIFICACION
		HUMEDO	SECO	CALOR	AIRE	SAGO	LATA					
ARCILLA REFRACTARIA	1680		X	X		40		135	35.0	60.0	12	A
HARWACO BOND M	1650	X			X		40	180	40.0	51.0	9	CS
HARWACO BOND DRY M	1650		X		X	50		135	42.0	54.0	12	CS
ANKORITE 65 M	1700		X	X		50		170	65.0	25.0	12	AA
CORALITE BOND M	1760	X			X		50	190	65.0	24.0	9	AA
REFSET 78 M	1700		X	X		50		135	77.0	18.0	12	XA
MORTERO KORUNDAL M	1800		X	X		50		215	91.0	8.0	12	XA
PHOXBOND M	1650	X		X		50		225	82.0	7.0	3	XA/LF
MORTERO ARSP	1600	X	X		X	54	20	200	2.0	91.0	6	AR
LIGASIL	1600		X	X		50		101	0.7	98.0	9	MS

A=ARCILLA REFRACTARIA

AA=ALTA ALUMINA

AR=ACIDO RESISTENTE

LF=LIGA FOSFORICA

CS=CALIDAD SUPERIOR

XA=EXTRA ALTA ALUMINA

MS=MORTERO DE SILICA

NOTA: TODOS SON DATOS PROMEDIO, ESTAN SUJETOS A VARIACIONES NORMALES, POR LO TANTO NO DEBEN TOMARSE COMO ESPECIFICACIONES

CONCEPTO CONCRETOS DENSOS	TEMP. °C	COMPRESION EN PLANO PROM/105 °C kg/cm²	MODULO DE RUPTURA PROM/105 °C kg/cm²	CANTIDAD NECESARIA Kg/m³ COLADO	ALUMINA PROMEDIO %	SILICE PROMEDIO %	VIDA ALMACEN * (MESES)
HW BAFLE MIX M	1510	218.0	70.0	2080.0	41.0	43.0	12
HR 22 M	1290	210.0	60.0	2040.0	38.0	43.0	12
HR 25 M	1400	263.0	56.0	2040.0	40.0	43.0	12
CALIDAD SUPERIOR							
AW ES M CASTABLE	1400	198.0	53.0	1860.0	43.0	38.0	12
HW ES M CASTABLE	1420	210.0	63.0	1960.0	45.0	40.0	12
UBC 46	1650	369.0	84.0	2320.0	47.0	47.0	6
ALTA ALUMINA							
HARGAST M	1538	200.0	53.0	2200.0	55.0	40.0	12
RECAST 60	1370	158.0	53.0	2215.0	60.0	31.0	12
UCAST 60 M	1650	210.0	63.0	2570.0	60.0	31.0	12
ALMEX DUR M	1400	457.0	87.0	2442.0	70.0	29.0	12
UBC 70	1705	738.0	105.0	2685.0	68.0	28.0	6
AUTOCAST 13	1350	702.0	126.0	1950.0	49.0	43.0	6
AUTOCAST 15	1482	949.0	191.0	2235.0	48.0	44.0	6
AUTOCAST 16	1650	783.0	153.0	2450.0	60.0	33.0	6
AUTOCAST 17	1650	61.0	27.0	2350.0	71.0	25.0	6
EXTRA ALTA ALUMINA							
UCAST 80 M	1870	730.0	123.0	2645.0	83.0	9.0	12
CASTOLAST GM	1870	527.0	105.0	2880.0	84.0	0.6	12
CASTOLAST G ADTECH M	1870	527.0	105.0	2880.0	94.0	0.6	12
ELECTROCAST 94 M	1870	527.0	137.0	2882.0	93.0	1.0	12
CASTOLAST 97 M	1870	130.0	40.0	2630.0	97.0	0.2	12
CASTOLAST 97 ADTECH M	1870	130.0	40.0	2630.0	97.0	0.2	12
ELECTROCAST 97	1870	228.0	91.0	2627.0	95.0	0.1	12
UBC 90	1870	350.0	137.0	3059.0	92.0	7.0	6
CONCRETOS AISLANTES							
HW LIGHT WEIGHT 16 M	870	5.0	3.0	400.0	10.0	30.0	12
MICACRETE 7 M	980	19.0	16.0	720.0	16.0	36.0	12
RM 50 BCF	1260	22.0	7.0	835.0	34.0	62.0	12
RM 22 LW	1200	35.0	14.0	800.0	41.0	34.0	12
CONCRETO ALMEX 55	1260	33.0	12.0	882.0	39.0	39.0	12
HW LIGHT WEIGHT 25 M	1370	72.0	24.0	1290.0	39.0	39.0	12
HW LIGHT WEIGHT 30 M	1650	84.0	30.0	1437.0	59.0	33.0	12
RM 33 LW	1815	61.0	22.0	1360.0	94.0	0.1	6

CONCEPTO PLASTICOS Y APISONABLES	TEMP. °C	MODULO DE RUPTURA PROM/105 °C Kg/cm²	CANTIDAD NECESARIA Kg/m³	ENVASE/Kg		ALUMINA PROMEDIO %	SILICE PROMEDIO %	VIDA ALMACEN * (MESES)
				CAJA	LATA			
CALIDAD SUPERIOR								
HW SUPER PLASTIC M	1760	21.0	2412	50		44.0	49.0	6
HW SUPER PLASTIC GSM	1760	18.0	2412	50		45.0	48.0	6
ALTA ALUMINA								
PLASTICO 50	1810	16.0	2425	50		50.0	44.0	6
PLASTICO ALUSA M	1835	30.0	2725	50		70.0	20.0	6
PLASTICO 80	1850	400.0	2850	50		80.0	13.0	6
APISONABLE CORALITE M	1865	23.0	2800		35	80.0	14.0	6
EXTRA ALTA ALUMINA								
APISONABLE 85 P. 1	1885	95.0	2925		35	85.0	10.0	3
APISONABLE 90 P. 1	1885	88.0	3198		35	90.0	9.0	3
PLASTICO CORAL M. 1	1885	70.0	2982	50		85.0	10.0	3
PLASTICO KORUNDAL M. 1	1885	77.0	3035	50		90.0	9.0	3
APISONABLE RUBY M. 2	1885	228.0	3320		35	87.0	2.0	3
PLASTICO RUBY M. 2	1885	119.0	3165	50		87.0	2.0	3

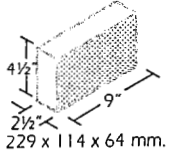
1= LIGA FOSFORICA

* = BAJO TFC.HO EN UN LUGAR SECO Y FRESCO

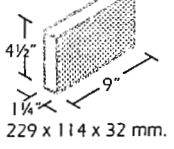
2=ALUMINA CROMO

teja y jamba rectangular

Rectangular

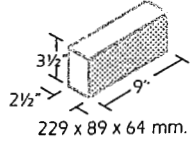


Teja No. 1

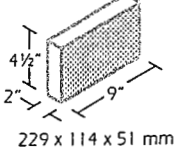


cuña

Mediano

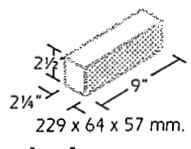


No. 2

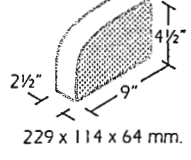


punta

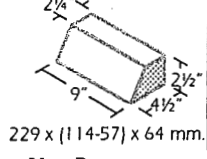
Chico



jamba



canto

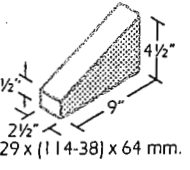


No. 3

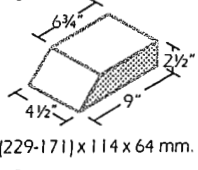
serie de 3"

forma	Millímetros	Pulgadas
Rectangular	229 x 114 x 76	9 x 4 1/2 x 3
Rectangular Mediano	229 x 89 x 76	9 x 3 1/2 x 3
Rectangular Chico	229 x 76 x 57	9 x 3 x 2 1/4
Teja	229 x 114 x 38	9 x 4 1/2 x 1 1/2
Dovela Círculo No. 1	229 x (114-101) x 76	9 x (4 1/2-4) x 3
Dovela Círculo No. 2	229 x (114-89) x 76	9 x (4 1/2-3 1/2) x 3
Dovela Círculo No. 3	229 x (114-76) x 76	9 x (4 1/2-3) x 3
Dovela Círculo No. 4	229 x (114-57) x 76	9 x (4 1/2-2 1/4) x 3
Dovela Canto No. 1	229 x 114 x (76-70)	9 x 4 1/2 x (3-2 3/4)
Dovela Canto No. 2	229 x 114 x (76-64)	9 x 4 1/2 x (3-2 1/2)
Dovela Canto No. 3	229 x 114 x (76-51)	9 x 4 1/2 x (3-2)
Dovela Canto No. 4	229 x 114 x (76-25)	9 x 4 1/2 x (3-1)
Dovela Punta No. 1	229 x 114 x (76-70)	9 x 4 1/2 x (3-2 3/4)
Dovela Punta No. 1-X	229 x 114 x (76-73)	9 x 4 1/2 x (3-2 7/8)
Dovela Punta No. 2	229 x 114 x (76-64)	9 x 4 1/2 x (3-2 1/2)
Dovela Punta No. 3	229 x 114 x (76-51)	9 x 4 1/2 x (3-2)
Salmer Cuña	229 x (114-38) x 76	9 x (4 1/2-1 1/2) x 3
Jamba	229 x 114 x 76	9 x 4 1/2 x 3
Salmer Punta	(229-160) x 114 x 76	(9-5 5/16) x 4 1/2 x 3
Salmer Canto	229 x (114-46) x 3	9 x (4 1/2-1 13/16) x 3

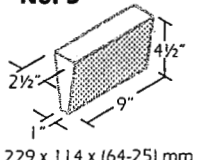
salmer



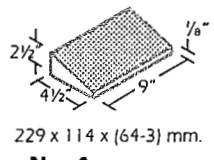
Canto No. 1



No. 2



No. 3

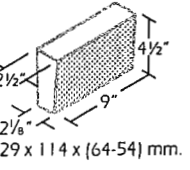


No. 4

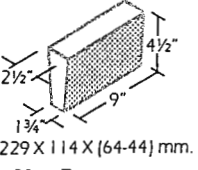
Combinando estas piezas se pueden construir:
BOVEDAS ARCOS ANILLOS
y un sinnúmero de variantes.

Para las instalaciones que requieren formas de diseño particular pueden fabricarse todo tipo de piezas especiales.

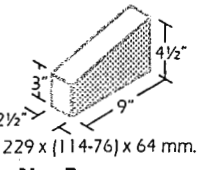
arco



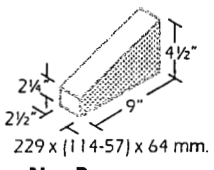
Círculo No. 1



No. 2

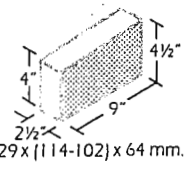


No. 2

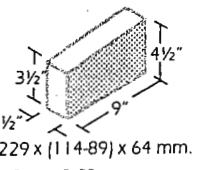


No. 3

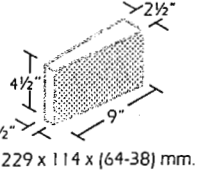
círculo



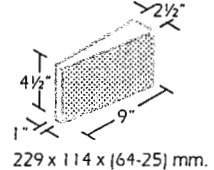
Punta No. 1



No. 1-X

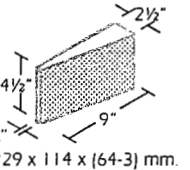


No. 2

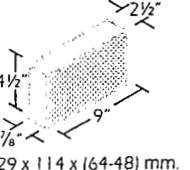


No. 3

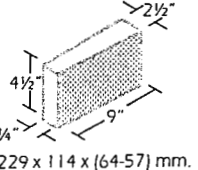
No. 4



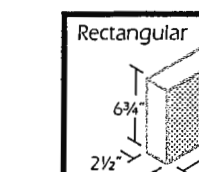
punta



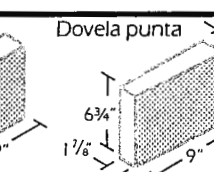
No. 1



No. 2



No. 3



No. 4

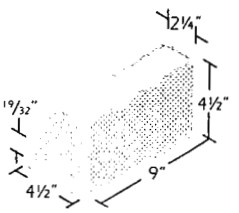
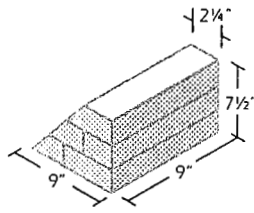
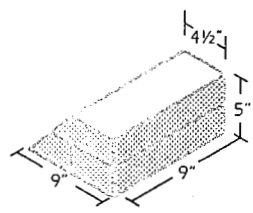
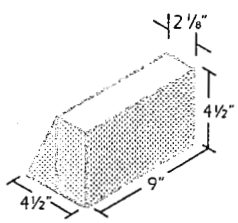
Es nuestro deseo que este catálogo sea una guía para la elección de los productos que requiere la industria. Ponemos a sus órdenes los servicios de nuestro Departamento Técnico para recomendaciones específicas.

<p>Rectangular</p> <p>229 x 171 x 64 mm.</p>	<p>Dovela punta</p> <p>229 x 171 x (64-46) mm.</p>	<p>Dovela punta</p> <p>229 x 171 x (64-38) mm.</p>
---	---	---

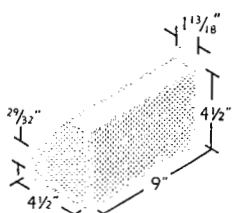
Las piezas de las series 229 x 171 x 64 mm. (9 x 6 3/4 x 2 1/2") 229 x 171 x 76 mm. (9 x 6 3/4 x 3") Se usan para romper juntas y obtener mejores construcciones refractarias.

Salmeres formados con piezas de la serie de 229 x 114 x 64 mm. (9 x 4 1/2 x 2 1/2")

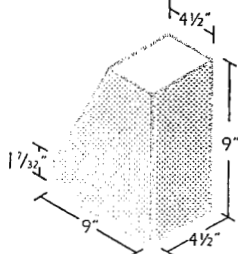
Salmeres Especiales



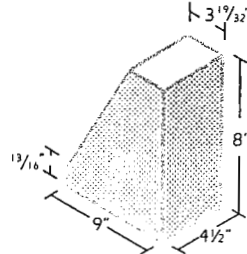
4160-A



4160-C



4160-B



4160-D

ANEXO 8:

“Manual de Operación y Mantenimiento del Sistema de Quemador de Llama Continua”

SAFFIL® ALUMINA LD MAT

- 96% alumina fiber
- Temperature use limit up to 3000°F
- Excellent resistance to chemical attack

Saffil alumina fiber is a high purity, high performance fiber designed and developed for temperature use up to 3000°F. It is manufactured by a production method which allows fine control of fiber diameter and absence of "shot".

Saffil alumina fibers carry all the desirable properties of established ceramic fibers - such as low weight, ease of use, low thermal conductivity, low thermal mass, and complete immunity to thermal shock - into far greater extremes of temperature and chemical environment.

Saffil alumina fibers show improved performance over other ceramic fibers in three main areas: refractoriness, resilience, and resistance to chemical attack. The first two advantages result from the interaction of two factors: their micro-crystalline structure, and the incorporation during manufacture of crystal-phase stabilizers.

Physical Properties

Color	white
Density, pcf (nominal)	3
Thickness, inches (nominal)	1 ½
Maximum temperature rating, °F	3000
Melting point, °F	3300
Continuous use limit, up to F	2800

Chemical Properties

Saffil Alumina LD Mat possesses excellent resistance to chemical attack. Exceptions include hydrofluoric acid, phosphoric acid, and strong alkalis (i.e., Na₂O, K₂O). Saffil alumina LD mat is unaffected by oil or water. Thermal and physical properties are restored after drying.

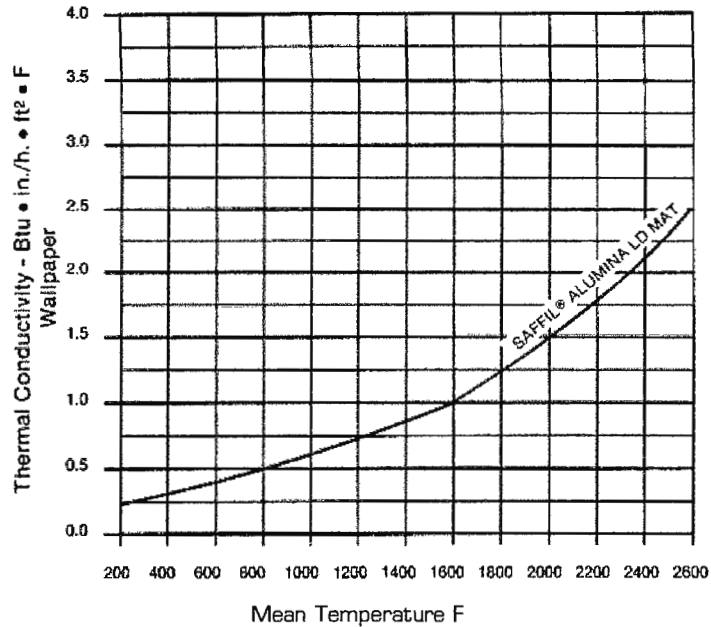
Chemical Analysis

[% fired basis]

Alumina	Al ₂ O ₃	96
Silica	SiO ₂	4
Quantities of trace elements:		PPM
Iron		400
Chromium		60
Nickel		140
Sodium		875
Magnesium		130
Calcium		525
Chloride (total)		80
Chloride (leachable)		5

Thermal Properties

Saffil Alumina LD Mat
Thermal Conductivity



Standard Sizes

Saffil Alumina LD Mat is manufactured in rolls 2 ft. wide and sold by weight in cartons containing one roll weighing 22 lbs.

Standard roll sizes, feet [nominal]	25x2
Thickness, inches [nominal]	1.5
Density, pcf [nominal]	3

For estimating purposes the average number of square feet per carton is 50. This may vary plus or minus 25% due to manufacturing density/thickness.

Typical Applications

- High temperature insulation
- Back-up insulation
- Gaskets, joints, seals
- Ingot mold "hot tops"
- Linings for launders, spouts, crucibles
- Ingot mold base pads
- Parting agents
- Kiln car insulation
- Glass furnace crown insulation
- General furnace repairs
- Secondary product processing
- Aerospace insulation

Data are average results of tests conducted under standard procedures and are subject to variation. Results should not be used for specification purposes.

Refer to the Material Safety Data Sheet [MSDS] for recommended work practices and other product safety information.

CERAWOOL® BLANKET

- Excellent insulating properties
- Continuous use limit of 1800°F
- Refractory fiber blanket with no organic binders
- Available in a variety of densities and sizes

Thermal Ceramics Cerawool refractory fiber blankets are formed from alumina, silica, and other refractory oxides. They are air-layed into a continuous mat and mechanically needled for added tensile strength and surface integrity. Cerawool blanket meets a wide range of back-up insulation applications in furnaces, kilns, and other high-temperature equipment.

Physical Properties

Color	white
Density, pcf [nominal]	4 - 8
Thickness, inches [nominal]	½ - 2
Melting point, °F	3200
Maximum continuous use limit, °F	1800

Chemical Analysis

Cerawool blanket provides excellent resistance to chemical attack. Exceptions include hydrofluoric acid, phosphoric acid, and strong alkalis [i.e. Na₂O, K₂O]. Cerawool Blanket is unaffected by oil and water. Thermal and physical properties are restored after drying.

Chemical Analysis

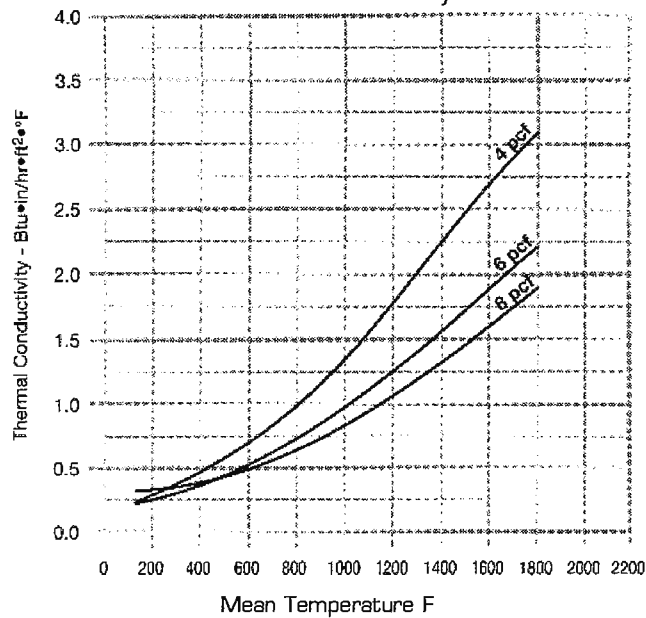
[% weight based, after firing]

Alumina	Al ₂ O ₃	40 - 48
Silica	SiO ₂	45 - 55
Other		1 - 2

Thermal Properties

Cerawool Blanket

Thermal Conductivity



Standard Sizes

Cerawool Blanket is manufactured in the following combinations of thickness and roll sizes:

Standard roll width, inches	24, 48
Standard roll length, feet	15*, 25, 50
Thickness, inches	½, 1, 1½, 2
Density, pcf	4, 6, 8

* 2" thick, 48" wide only

NOTE: Some combinations or non-standard dimensions may be available upon special request only.

Typical Applications

- Removable insulating blankets for steam and gas turbines
- Reusable insulation blankets for field stress relieving of welds
- Flexible high-temperature pipe insulation
- Insulation wrap on investment casting molds
- Asbestos replacement
- Fiberglass / mineral wool replacement

Data are average results of tests conducted under standard procedures and are subject to variation.
Results should not be used for specification purposes.

Refer to the Material Safety Data Sheet (MSDS) for recommended work practices and other product safety information.

KAOWOOL® BLANKET

- Available from stock in more than 40 different combinations of sizes and densities
- Low thermal conductivity and heat storage
- Resistance to thermal shock and chemical attack
- Good acoustical and fire protection properties
- Highly flexible; easily cut and fabricated

Thermal Ceramics Kaowool Blanket is produced from kaolin, a naturally occurring alumina-silica fiber clay. The resultant high quality alumina-silica fibers are air-layed into a continuous mat and mechanically needled for added tensile strength and surface integrity.

Kaowool, the world's most recognizable name of ceramic fiber blanket is available in a wide variety of densities and sizes. Kaowool Blanket offers excellent handleability and high temperature stability which allows it to meet a wide range of hot face and back-up insulation applications in furnaces, kilns, and others equipment requiring high temperature heat containment.

Physical Properties

Color	white
Density, pcf	3-12
Thickness, inches	1/8-2
Maximum temperature rating, °F	2300
Melting point, °F	3200
Continuous use limit, up to °F	2000

Chemical Properties

Kaowool ceramic fiber blanket products provide excellent resistance to chemical attack. Exceptions include hydrofluoric acid, phosphoric acid, and strong alkalis (i.e., Na₂O, K₂O). Kaowool Blanket is unaffected by oil or water. Thermal and physical properties are restored after drying.

Chemical Analysis

{% weight based, after firing}

Alumina	Al ₂ O ₃	45
Silica	SiO ₂	53
Ferric oxide	Fe ₂ O ₃	1.0
Titanium oxide	TiO ₂	1.7
Magnesium oxide	MgO	trace
Calcium oxide	CaO	0.1
Alkalies	Na ₂ O	0.2
Boron oxide	B ₂ O ₃	0.08

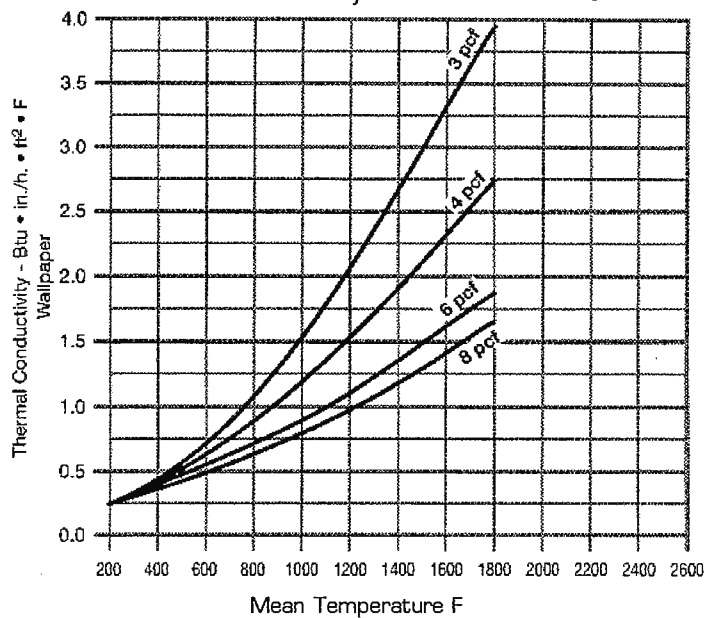
Water leachable elements on surface of fiber, typical quantities, PPM

Boron	100
Chloride	5
Fluorine	50
Sulphur	10

Thermal Properties

Kaowool Blanket

Thermal Conductivity at various densities



R Value: The "R" value for ceramic fiber blanket is defined as the inverse of the "K" value multiplied by the thickness (inches). R value @ 70F per ASTM C518-76 for 1", 6 pcf is 4.15/inch.

Typical Applications

- Uses for Kaowool Blanket include:
 - Furnace kiln, reformer and boiler linings
 - Laboratory ovens
 - Oven linings
 - Furnace door linings and seals
 - Furnace repair
 - Annealing furnace linings
 - Reheat furnace linings
 - Investment casting mold wrap
 - Stress relieving blankets
 - Reusable steam and
 - Gas turbine insulation
 - Soaking Pit Seals
 - Expansion joint packing
 - High temperature gasketing
 - Fire protection
 - Process Furnace linings heaters reformers ethylene
 - Acoustical service
 - Cryogenic insulation

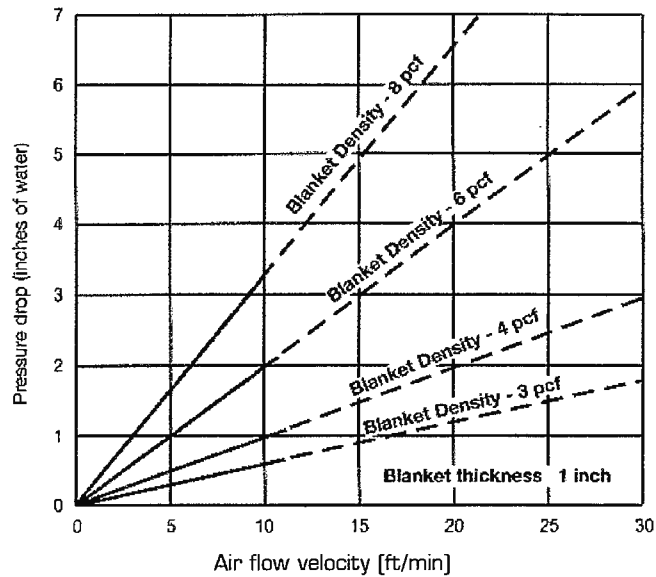
Standard Sizes

Roll widths, feet	2, 4
Roll length, feet	25
Thickness, inches	1/8, 1/4, 1/2, 1, 1 1/2, 2
Density, pcf	3, 4, 6, 8, 10, 12

Note: not all densities available in all thickness

Special Testing

Pressure drop across Kaowool Blanket
at various densities



Military Specifications & Approvals

Mil-1-23128A	3, 6 pcf blanket
Mil-1-24244	All blankets
Mil-1-23128B	6, 8 pcf blanket

Non-Combustibility Classification per UL723/ASTM-84 for all densities

Flame Spread	0
Fuel Contribution	0
Smoke Developed	0

Acoustical Performance Per ASTM C-423-84 A&E-795 Sound Absorption Coefficient

Kaowool

Blanket	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	NRC
1"-4 pcf	.29	1.00	1.04	.99	.98	.85
1"-8 pcf	.50	.92	.91	.91	.94	.80
2"-4 pcf	.92	1.01	1.01	1.03	1.10	1.00
2"-8 pcf	.80	.72	.86	.92	1.02	.85

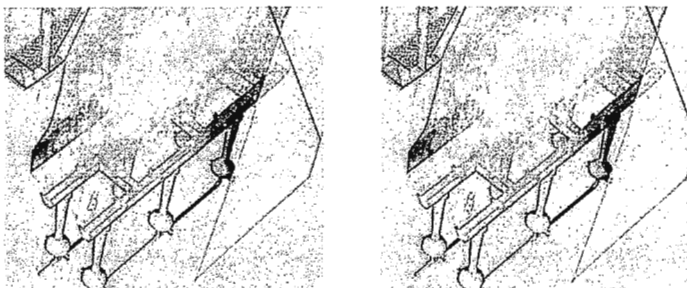
Data are average results of tests conducted under standard procedures and are subject to variation. Results should not be used for specification purposes.

Refer to the Material Safety Data Sheet (MSDS) for recommended work practices and other product safety information.

ANEXO 7:

“Características de algunas Fibras Cerámicas”

QUEMADOR DE LLAMA CONTINUA



MEGA

Indice Apendice "A"

QUEMADOR MEGA

1) CARACTERÍSTICAS GENERALES.....	2
2) CIRCUITO ELÉCTRICO.....	3
3) DIAGRAMA DE ENCENDIDO.....	5
4) MODO DE OPERACIÓN.....	6

CONTROL DE LLAMA SATRONIC TFI 812

INTRODUCCION AL TFI 812.....	7
CARACTERÍSTICAS DE CONSTRUCCIÓN.....	7
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS.....	8
MANTENIMIENTO.....	9
DIAGRAMA DE CABLEADO Y SECUENCIA TFI 812.....	10

VALVULA SOLENOIDE JEFFERSON 2088

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES.....	12
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.....	12
DIMENSIONES GENERALES.....	13



apendice A



QUEMADOR DE LLAMA CONTINUA

MEGA



1) Características Generales.

- Quemadores de llama continua con aspiración natural del aire primario por medio de venturis y aire secundario proporcionado por medio de la entrada de aire libre del horno
- Compuestos por módulos rectos (parte de estos con conexión para los venturis) y en forma de T en fundición de hierro. Los mismos poseen 1 fila de agujeros centrales para combustión principal.
- Los venturis son de fundición de hierro con registros de aire primario en acero e inyector en bronce.
- Existe un modulo recto por quemador con alimentación de mezcla independiente, con venturi de 1 ¼" para funcionar como piloto, con sus correspondientes electrodos para encendido y detector de llama. (entre el modulo del piloto y los restantes existe 1 (una) brida divisoria)
- Los módulos están abulonados entre sí a través de sus bridas con bulones de ¼" de diámetro. Además se proveen juntas para alta temperatura.

Otras Características Técnicas:

Largo del Quemador: 0.20 metros

Capacidad máxima de piloto: 40.000 Kcal/h

Capacidad máxima de cada Venturi: 375.000 Kcal/h.

Presión de Trabajo:

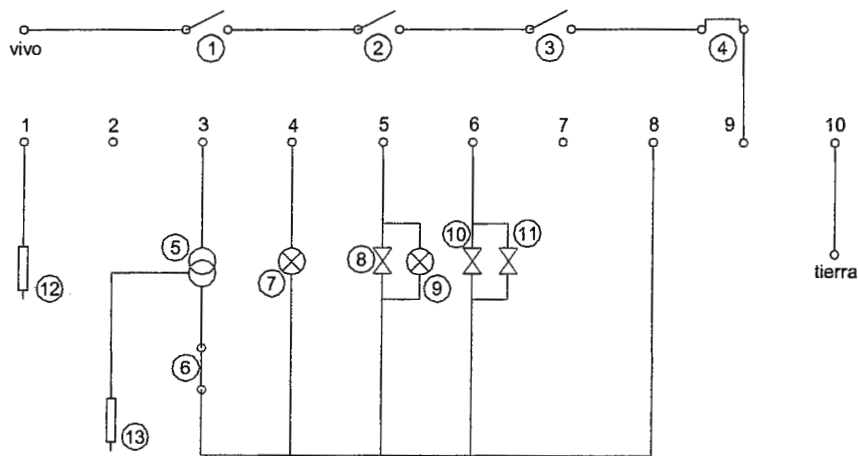
CASO 1: 0,16 a 1,40 Bar para Gas Natural.(*)

CASO 2: 1,40 Bar para G.L.P.(*)

(*) La utilización de presiones de alimentación en los quemadores superiores a 0,16 Bar es para lograr:

- Distribución de la llama en mayor longitud.
- Uniformidad de temperatura en la superficie de la cámara.
- Llama corta.

2) Circuito Eléctrico.



1. Interruptor Encendido.
2. Presostato de Gas.
3. Presostato de Aire.
4. Control de Temperatura.
5. Transformador de Encendido.
6. Microcontacto Válvula Cerrada (MVC).
7. Luz Ámbar Barrido.
8. Válvula Solenoide Piloto.
9. Luz Verde. (Encendido)
10. Válvula Solenoide Principal.
11. Válvula Solenoide Principal.
12. Detector de Llama.
13. Electrodo de Encendido



Secuencia de funcionamiento del control de llama SATRONIC TFI 812.3.

Habilitando la energía eléctrica (si los controles limites: presostato de gas, control de temperatura y control de depresión en la cámara de combustión están en condiciones de trabajo) comienza el prebarrido que es de 15 segundos (se enciende luz ámbar). Luego se energizan el transformador de encendido (si el MVC (6) está cerrado) y válvula solenoide piloto durante 3 segundos debiendo detectarse la llama. De ser así se enciende la luz verde, permaneciendo encendido solo el piloto para verificar estabilidad de llama durante 20 segundos. Luego se habilitan las válvulas solenoides principales.

Si el piloto no enciende el sistema se bloquea y se enciende la luz roja (en el pulsador del control) indicando falla.

Para volver a intentar el encendido se debe esperar 1 minuto y oprimir el pulsador del control.

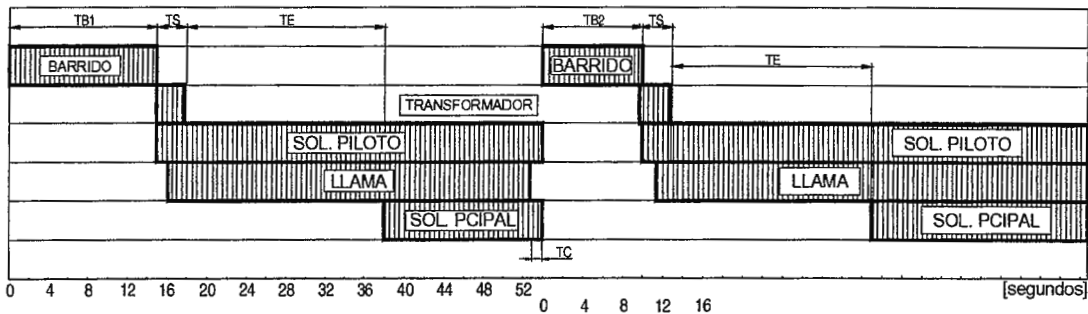
Si con el quemador encendido se produce el apagado por baja tensión o corte por detección de llama el sistema automáticamente bloqueará las válvulas solenoides y comenzara el re arranque con un barrido de 10 segundos encendiéndose la luz ámbar y luego de la detección de llama nuevamente la luz verde habilitando las válvulas solenoides principales.



Características Control de Llama Satronic TFI 812.3:

Voltaje:	220/240 V (-15 +10 %).
Frecuencia:	40 a 60 Hz.
Fusible:	6 Amp.
Consumo:	5 VA.
Corriente	Máxima por Terminal de Salida: 4 Amp.
Temperatura Ambiente Admisible:	-20 a 60 °C.
Corriente Mínima de Detección:	2 microAmpere.
Tiempo de Barrido Inicial:	15 segundos.
Tiempo de barrido en re arranque:	10 segundos.
Tiempo de Seguridad:	3 segundos.
Tiempo Estabilización Piloto:	20 segundos.
Tiempo de Corte:	1 segundo.
Aislación:	IP44.
Norma de Aprobación:	DIN 4788 Parte 3. Edición 4/89.

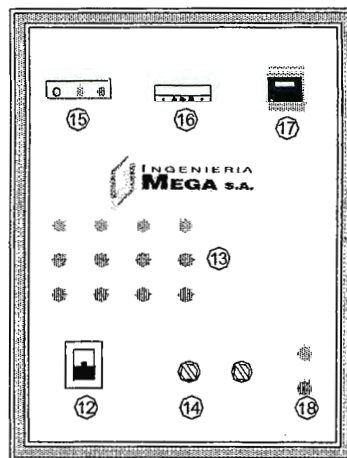
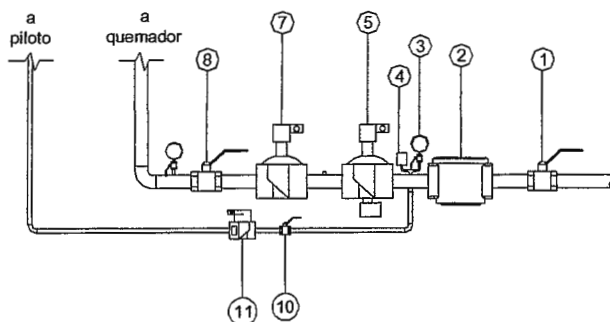
3) Diagrama de Encendido.



- TB1: Tiempo de Barrido Inicial. (15 seg.)
- TS: Tiempo de Seguridad. (3 seg.)
- TE: Tiempo Estabilidad Llama Piloto. (20seg.)
- TB2: Tiempo barrido en Re arranque. (10 seg.)
- TC: Tiempo de Corte. (1 seg.)

4) Modo de operación.

ESQUEMA DE TREN DE VÁLVULA TABLERO



- Cerrar llave (8) y abrir llaves (1) y (10).
- Cerrar interruptor principal (12), verificando nivel de cereal (18). La luz verde indica nivel de tolva lleno y la roja nivel de tolva vacío.
- Accionar encendido de quemador con llave (14). Se encenderá luz ámbar de (15). Cuando se enciende el piloto y detecta llama se enciende luz verde de (15).
- Abriendo la válvula (8) se enciende el quemador. Con esta, se regula la temperatura de funcionamiento del Horno. La misma se lee en (16).
- Por último se acciona (17)

CONTROL PARA QUEMADOR DE GAS SATRONIC TFI 812

Para quemadores atmosféricos de gas.

Posibles detectores de llama:

- Varilla de ionización
- Detector infrarrojo.

satronic

TFI 812

INTRODUCCIÓN

El control para quemadores de gas TFI 812.2 está diseñado para controlar y monitorear quemadores atmosféricos de gas. Ha sido probado y aprobado por DIN 4788 parte 3 edición 04.89 y por el estándar Europeo EN298. También es adecuado para el uso con generadores estacionarios de aire caliente (como DIN 4794).

El control está diseñado para una máxima seguridad en la presencia de fluctuaciones en el suministro de voltaje. Si el voltaje principal cae por debajo del nivel permitido, se interrumpe la operación y el control previene automáticamente que sea repetida la secuencia de encendido. De esta forma, no se pone en riesgo la seguridad del sistema por una caída en el voltaje principal.

El control y la función de monitoreo que ejecuta no es afectada negativamente por ocasionales chispas de ignición que brinquen hacia el electrodo de ionización.

El restablecimiento remoto, FR 870, (item no. 70700) puede ser conectado para permitir la reinicialización remota del control (ver doc. No. 750).

El control TFI 812.2 está equipado con la función contra falla de caída de voltaje.



CARACTERÍSTICAS DE CONSTRUCCIÓN

El control está bien protegido por una cubierta enchufable resistente a llama la cual encierra a la unidad termomecánica compensatoria de temperatura, la unidad de monitoreo de llama y el dispositivo de restablecimiento.

El botón de restablecimiento, el cual incorpora una lámpara indicadora, y el sujetador del tornillo central, están situados en la parte superior de la caja de control.

La subbase, la cual puede ser equipada con terminales adicionales, conjuntamente con varios puntos de entrada de cable, hacen posible un cableado universal.



TIPOS DISPONIBLES		DATOS TÉCNICOS	
TFI 812.2 mod. 5	Intervalo de seguridad de 5 seg. Tiempo de pre-ignición, de 15 seg. Capacidad nominal apropiada de acuerdo al estándar de dispositivos o a la directiva de dispositivos de gas.	Voltaje	110 V; 220/240 V (-15 ... + 10%) 50 Hz (40 – 60 Hz)
TFI 812.2 mod. 10	Intervalo de seguridad de 10 seg. Tiempo de pre-ignición, aprox. 10 seg. Capacidad nominal apropiada de acuerdo al estándar de dispositivos o a la directiva de dispositivos de gas.	Rango de fusible	10 A rápido ó 6 A lento
TFI 812.2 B mod. 5	Mismo que el anterior- Sin tiempo de pre-ignición.	Consumo de Energía	5 VA
TFI 812.2 B mod. 10	Mismo que el anterior- Sin tiempo de pre-ignición.	Corriente máxima por terminal de salida	4 A
		Corriente máxima total	6 A
		Tiempo de pre-ignición	10 ó 15 seg.
		Retraso, tiempo de post-ignición	No
		Intervalo de seguridad	5 ó 10 seg.
		Retraso en la válvula principal	aprox. 20 seg.
		Retraso de reinicio después de bloqueo	aprox. 60 seg.
		Temperatura ambiente permisible	-20° C a + 60° C
		Sensibilidad	1.5 µA
		Corriente mín. de ionización requerida	2 – 3 µA
		Aislamiento de la varilla de ionización	varilla – tierra
		Capacidad del aislamiento	mayor a 50 MΩ varilla – tierra menor a 1 µF (Máx. Cable 20 m)
		Estándar de aislamiento	IP 44
		Peso (subbase incluida)	250 g
		Posición de instalación	cuquiera

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

1 Detección de llama

Son adecuados los siguientes tipos de detector de llama:

- Varilla de ionización, material resistente a la temperatura, bien aislado (material y aislamiento igual al del electrodo de ignición).
- IRD 1020 detector Infrarrojo (ver doc. 746)

La detección de la llama usando una varilla de ionización únicamente es posible conjuntamente con suministros principales los cuales proveen una conexión a tierra neutral.

2 Seguridad

En términos de diseño/construcción y secuencia del programa, el control TFI 812 conforme con las regulaciones y estándares Europeos aplicables actualmente.

3 Instalación

Subbase:

- 3 terminales a tierra, con etiqueta adicional para la tierra del quemador.
- 3 terminales neutras, con una conexión interna fija, hacia la entrada neutral, terminal 8.
- 2 terminales independientes, que pueden ser utilizadas como sea deseado.
- 2 placas deslizables, 2 guías fijas con rosca (rosca PG11), y 2 guías inferiores, para facilitar el cableado de la subbase.

En general:

- Puede ser montada en cualquier posición, aislada como el estándar IP 44 (no afectado por el spray de agua).
- El control y la varilla detectora no deben, de cualquier forma, ser sujetas a vibración excesiva.
- Las regulaciones de instalación aplicables deben ser observadas durante la instalación.

MANTENIMIENTO

1. Notas importantes

- El cableado debe ser revisado exactamente cuando se comisione la instalación. Un cableado incorrecto puede dañar el control, poniendo en riesgo la seguridad del quemador.
- Los rangos de los fusibles seleccionados no deben ser mayores que los valores indicados en los datos técnicos. El fallar en esta observación puede, en caso de corto circuito, tener serias consecuencias para el control o para el sistema del quemador.
- Por razones de seguridad (normas Europeas), debe asegurarse que el control realice por lo menos un apagado normal en cada periodo de 24 horas.
- Apague o desconecte la energía eléctrica antes de conectar o desconectar la unidad.
- El control del quemador es responsable de la seguridad del sistema y no se debe de abrir.

2. Revisiones de rutina

En la instalación o después del proceso de mantenimiento del quemador, o si el quemador no ha sido operado por largo tiempo, se debe realizar una prueba a las funciones de seguridad de la caja de control.

- A) Intentar iniciar con la válvula de gas cerrada:
- Al final del tiempo de seguridad
 - Bloqueo.
- B) Después de un encendido normal, con el quemador operando, cerrar la válvula de gas
- Al final del tiempo de seguridad, el sistema intenta reiniciar
 - Bloqueo.

3. Posibles fallas

El quemador no enciende:

- Falla en el suministro de energía, el termostato está apagado
- El voltaje principal está por debajo del nivel aceptable.

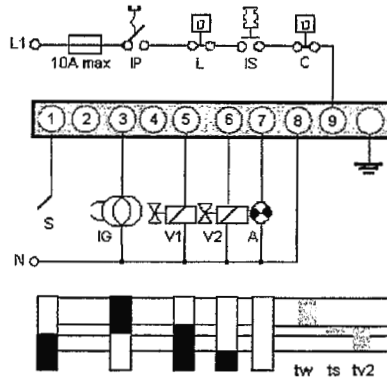
El control se bloquea después de intentar un encendido sin el establecimiento de llama:

- No hubo ignición o el combustible no llega al quemador
- Se registra señal de llama cuando no debiera existir
- El voltaje principal está por debajo del 15% del valor nominal

El quemador enciende, la llama se establece, pero el control se bloquea después del tiempo de seguridad.

- No hay señal de llama o la señal es demasiado débil
- El detector de llama está sucio o es defectuoso

DIAGRAMA DE CABLEADO Y SECUENCIA TF812.2



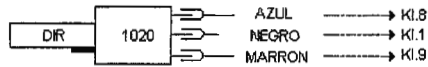
- IP INTERRUPTOR PRINCIPAL
- L LIMITE
- IS INTERRUPTORES DE SEGURIDAD
- C CONTROL
- S SENSOR DE LLAMA
- IG IGNICION
- V1 VALVULA PILOTO
- V2 VALVULA PRINCIPAL
- A ALARMA

tw Tiempo de Preignicion
 15 seg. (mod. 5)
 20 seg. (mod.10)

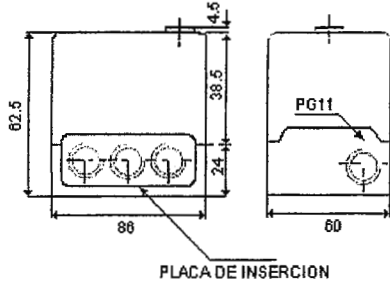
ts Tiempo de Seguridad
 5 seg. (mod. 5)
 10 seg. (mod. 10)

tv2 Retraso de la Valvula Principal

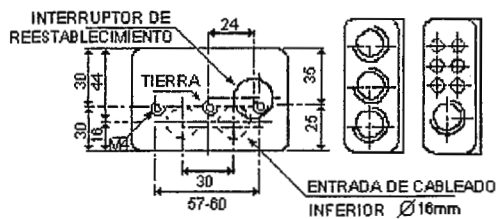
CONEXION DE IRD



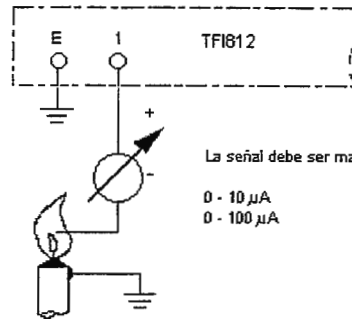
DIMENSIONES INCLUYENDO LA SUBBASE



PLACA DE INSERION

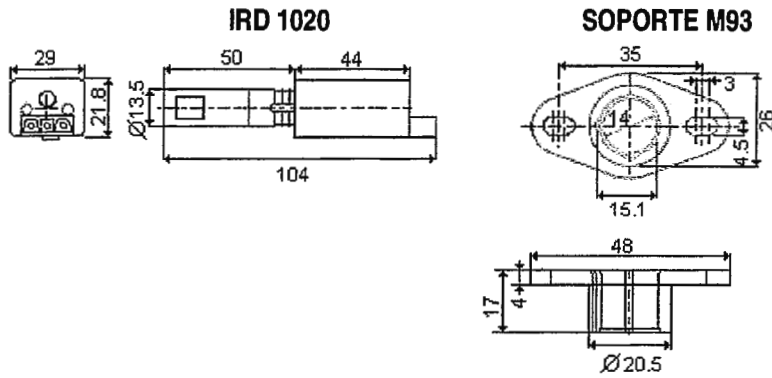


MEDICIÓN DE LA SEÑAL DE LLAMA



La señal debe ser mayor de 5 µA

0 - 10 µA
 0 - 100 µA



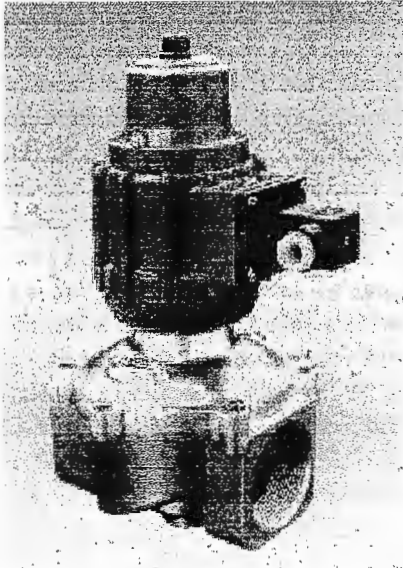
INFORMACIÓN DE PEDIDO		
ITEM	DESIGNACIÓN	NO. DE ITEM
Control	TFI 812.2 mod. 5	2601
Control	TFI 812.2 mod. 10	2602
Control	TFI 812.2 B mod. 5	2607
Control	TFI 812.2 B mod. 10	2608
Control	TFI 812.2 mod. 5 110 VAC	2621
Control	TFI 812.2 mod. 10 110 VAC	2622
Subbase	701 ABEN subbase	70001
Placa deslizable	Placa PG	70502
Opcional	Placa de cable	70501
Detector de llama	IRD 1020 vision-derecho	16522
Detector de llama	IRD 1020 vision-izquierda	16523
Detector de llama	IRD 1020 vision-derecha	16521
Brida de IRD	Soporte de IRD	59093
Cable de detector de llama	De 3-alambres, 0.6 m	7236001

satronic



VÁLVULA A SOLENOIDE PARA GAS NATURAL Y OTROS

DE APERTURA LENTA Y CIERRE RÁPIDO.



Serie 2088



Características principales

No requiere presión diferencial para operar.
 Apta para baja y media presión de trabajo.
 Cuerpo de aluminio inyectado o fundido.
 Conexiones roscadas BSP o NPT.
 Sellos e interiores de Acrilo-nitrilo.
 Bobinas clase H con carcasa uso interior.

Conector eléctrico para cable blindado con prensacable o conexión roscada para conduit de 1/2" NPT.

Para 220 V y 110 V: rectificador de corriente y supresor de sobrevoltaje reactivo transitorio montado en el conector.

Apertura rápida y apertura lenta en 2 etapas ambas regulares:

1ª etapa: Apertura en una proporción de la carrera total regulable desde 0 al 80%.

2ª etapa: Apertura lenta regulable hasta 20 segundos desde la terminación de la 1ª etapa hasta el final de la apertura.

Opcionales:

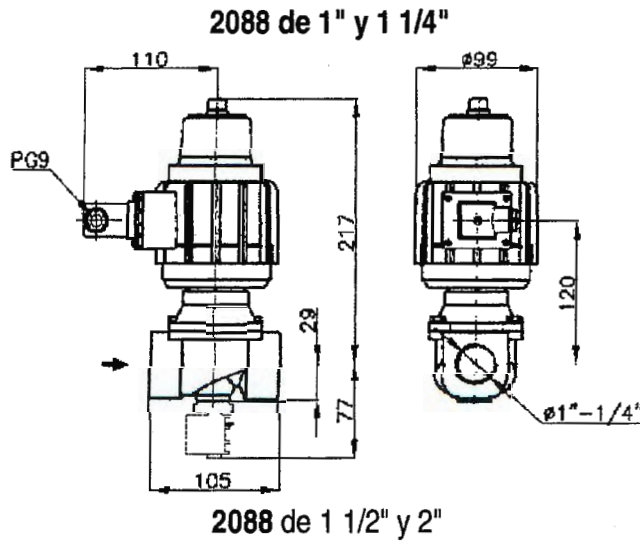
- Microcontacto de prueba de válvula cerrada.
- Carcasa a prueba de intemperie.

Especificaciones técnicas

Conexión	Pasaje mm.	Coef. Kv. m ³ /h	P máxima en bar	Temp. máx. en °C	Peso en kg	Nº de catálogo	
						Apertura lenta	Apertura rápida
1"	32	12				2088LA08L	2088LA08R
1,1/4"	32	15	3	80	2,8	2088LA10L	2088LA10R
1,1/2"	48	36				2088LA12L	2088LA12R
2"	51	49			3,3	2088LA16L	2088LA16R



Dimensiones generales



Medidas en mm.

Conexiones NPT

Agregar el sufijo "T" al N° de Catálogo.
Ejemplo: 2088LA08LT.

Bobinas

CA 50 y 60 Hz: 60 W - Tipo S60HR, para 110, 120, 220 y 240 V. (incluye rectificador de corriente).
C.C.: 60 W - Tipo S60H, para 24, 110 for 220 V. (sin rectificador de corriente).

Opcionales

- Microcontacto de prueba de válvula cerrada (indicador de posición). Agregar el sufijo "a" al número de catálogo.
Ejemplo: 2088LA08L - Ia.

Carcasa a prueba de intemperie. Agregar el prefijo Y al número de catálogo. Ejemplo: Y2088LA08L.

Recomendaciones para la instalación:

- Instalar un filtro delante de la válvula con porosidad menor a 50 micrones.
- Montaje: Preferentemente sobre cañería horizontal con la bobina hacia arriba.

Aplicación:

- Equipos de combustión de gas de baja y alta presión.
- Aire u otro gas neutro de baja y media presión.
- Se ajustan a las últimas disposiciones, normas y recomendaciones para uso de gas natural en instalaciones industriales para el territorio de la República Argentina.

ANEXO 9: Información Útil sobre el Gas Licuado del Petróleo

DESCRIPCION	PROPANO	BUTANO
Fórmula	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀
Punto de ebullición, Fahrenheit	-44	32
Centígrado	-42.5	0
Gravedad específica del gas (Aire = 100)	1.53	2.00
Gravedad específica del líquido (Agua = 100)	0.51	0.58
Lbs. por galón de líquido a 60°F	4.24	4.81
Btu por galón de gas a 60°F	91690	102032
Btu por Lb. de gas	21591	21221
Btu por pie ³ de gas a 60°F	2516	3280
Pie ³ de vapor a 60°F por Gal. de líquido a 60°F	36.39	31.26
Pie ³ de vapor a 60°F por lb. de líquido a 60°F	8.547	6.506
Calor latente de vaporización al punto de ebullición Btu/Gal	785.0	808.0
Datos de combustión: Pie ³ de aire requeridos para quemar 1 pie ³ de gas	23.86	31.02
Punto de inflamación, °F	-156	-----
Temperatura de ignición en el aire, °F	920-1020	900-1000
Temperatura máxima de la flama en el aire, °F	3595	3615
Límites de inflamabilidad, porcentajes de gas en mezcla de aire:		
Al límite más bajo %	2.4	1.9
Al límite más alto %	9.6	8.6
Número de octanos: (Iso-Octano = 100)	Más de 100	92

Fuente: REGO PRODUCTS, *Manual de servicio para el instalador de GLP.*
 Fax (919) 449-6594 USA.

ANEXO 10: INDICE DE TABLAS EFECTIVAS

	PAGINA
5.0 MATERIALES CERAMICOS	
TABLA 5.1: Porcentajes de Carácter Iónico y Covalentes del Enlace para algunos Compuestos Cerámicos	10
TABLA 5.2: Compuestos Cerámicos Sencillos con sus puntos de Fusión	10
TABLA 5.3: Composiciones Químicas de algunas Arcillas	11
TABLA 5.4: Rango de Temperaturas de Transformaciones Alotrópicas de la Sílice	12
TABLA 5.5: Historia Térmica de una Pasta Triaxial	14
TABLA 5.6: Porcentaje de Pastas para Trabajo a Mano	23
TABLA 5.7: Porcentaje de Pastas de Gres	23
6.0 HORNOS: Tipos, Accesorios y Materiales Refractarios	
TABLA 6.1: Comparación entre Hornos Alimentados con Gas Propano y Hornos Eléctricos	32
TABLA 6.2: Dimensiones Críticas para Hornos de Gas de Tiro Invertido	35
TABLA 6.3: Temperatura de los Conos Seger para un ritmo de Calentamiento de 150°C por hora	38
TABLA 6.4: Equivalencias entre las Temperaturas de los Conos Orton y los grados °C	39
TABLA 6.5: Selección de Reguladores de Presión	42
7.0 TRANSFERENCIA DE CALOR Y ANALISIS DE COMBUSTION	
TABLA 7.1: Valores Seleccionados de la Conductividad Térmica	53

10.0 DISEÑO DEL HORNO

TABLA 10.1: Perdidas para Distintos Valores de Espesores	113
TABLA 10.2: Costos de Materiales para la Fabricación del Horno	113

12.0 ANALISIS DEL FUNCIONAMIENTO DEL HORNO

TABLA 12.1: Coeficientes de Expansión Térmica Media de Cerámicas Seleccionadas	120
TABLA 12.2: Propiedades Mecánicas Típicas a la Temperatura del medio ambiente de Cerámicas Seleccionadas	120
TABLA 12.3: Esfuerzos Generados por los Cambios de Temperatura	121
TABLA 12.4: Velocidad de Incremento de Temperatura	123
TABLA 12.5: Valores para construcción de Gráfica de Schmidt	125
TABLA 12.6: Distribución de Flujo de Calor en Estado Estacionario	125
TABLA 12.7: Valores de la Constante C	128

15.0 ANALISIS ECONOMICO

TABLA 15.1: Recuperación de Capital	142
-------------------------------------	-----

ANEXO 11: INDICE DE FIGURAS EFECTIVAS

	PAGINA
5.0 MATERIALES CERAMICOS	
FIGURA 5.1: Disposición de los Enlaces Atómicos de los Tetraedros	12
FIGURA 5.2: Cambios de Volumen con Temperaturas de Estructura de Sílice	13
FIGURA 5.3: Areas Triaxiales Correspondientes a Composiciones de Cerámica Fina	15
FIGURA 5.4: Conductividad Térmica de Materiales Cerámicos	18
6.0 HORNOS: Tipos, Accesorios y Materiales Refractarios	
FIGURA 6.1: Quemador Atmosférico de Alta Presión	36
FIGURA 6.2: Conos Pirométricos	40
FIGURA 6.3: Fibra de Boro con Núcleo de Wolframio	45
FIGURA 6.4: Fibra de Alúmina FP	46
FIGURA 6.5: Fibra Tyranno LOX-M	48
7.0 TRANSFERENCIA DE CALOR Y ANALISIS DE COMBUSTION	
FIGURA 7.1: Esquema que Muestra el Flujo de Calor en dos dimensiones	57
FIGURA 7.2: Isotermas y Líneas de Flujo de Calor en una Pared Semi-infinita	58
FIGURA 7.3: Representación Gráfica de un Elemento para el análisis de Graficación de Flujo	59
FIGURA 7.4: Esquema que Ilustra Dimensiones que se Utilizan en el Cálculo de Factores de Forma	61
FIGURA 7.5: Esquema de un Hogar o Cámara de Combustión	64

9.0 CONSIDERACIONES GENERALES

FIGURA 9.1: Flujo de Gases en el Interior del Horno	80
---	----

10.0 DISEÑO DEL HORNO

FIGURA 10.1: Esquema de la Estructura Metálica del Horno	84
--	----

FIGURA 10.2: Esquema de la configuración de la Pared del Horno	85
---	----

FIGURA 10.3: Esquema de un Horno de Forma Cúbica	88
--	----

FIGURA 10.4: Esquema de un Horno de Forma Rectangular	100
---	-----

12.0 ANALISIS DEL FUNCIONAMIENTO DEL HORNO

FIGURA 12.1: Distribución de la Temperatura en la Pared y Techo del Horno	126
--	-----

ANEXO 12:

“Gráfica de Schmidt”

GRAFICA DE SCHMIDT

