

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

FACULTAD DE INGENIERIA MECÁNICA – ENERGÍA



MEJORA TERMICA DEL HORNO DE LECHO FLUIDIZADO DE 45 TON/H PARA TOSTACION DE CONCENTRADO DE ZINC EN LA REFINERIA DE CAJAMARQUILLA

TESIS

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL

DE INGENIERO MECANICO

REALIZADO POR:

EDUARDO ALEX ENCISO ARRIAGA

CALLAO, MARZO DEL 2010

Id. Publ. 15972
Id. Exemplar: 39066

1.3 FORMULACIÓN DE LA HIPOTESIS	11
1.3.1 VARIABLES E INDICADORES	11
1.4 IMPORTANCIA DEL PROYECTO	14
CAPITULO II: MARCO TEORICO	13
2.1 DEFINICIÓN DE HORNOS INDUSTRIALES	14
2.2 TIPOS DE HORNOS INDUSTRIALES	14
2.2.1 CLASIFICACION DE HORNOS INDUSTRIALES	15
2.3. EL HORNO DE LECHO FLUIDIZADO DE CONCENTRADO DE ZINC	17
2.4. REFRACTARIOS INDUSTRIALES	19
2.4.1 MATERIAL REFRACTARIO	19
2.4.2 CLASES DE MATERIALES REFRACTARIOS	19
2.4.3 CARACTERISTICAS DE LOS REFRACTARIOS USADOS EN LOS REVESTIMIENTOS DEL HORNO	24
2.5 MATERIAL AISLANTE	32
2.5.1 CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LOS MATERIALES AISLANTES	32
2.6 MODOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR EN FLUJO PERMANENTE UNIDIMENCIONAL.	35
2.6.1 CONDUCCION	35

2.6.1.1 PAREDES COMPUESTAS	35
2.6.1.2 CILINDROS CONCENTRICOS	38
2.6.2 RADIACION	40
2.6.3 CONVECCION	40
2.7 PREPARACION DE MATERIALES REFRACTARIOS	41
2.7.1 MODO DE PREPARACION DEL CASTABLE EN LA MEZCLADORA	41
CAPITULO III: INGENIERIA DEL PROYECTO	45
3.1 ANALISIS Y METODOLOGIA DEL CÁLCULO	46
3.2 TRANSFERENCIA DE CALOR POR CILINDROS CONCENTRICOS.	46
3.2.1 CALOR TRANSFERIDO POR LAS PAREDES DEL CILINDRO SUPERIOR.	47
3.2.2 DIMENSIONES DE LOS RADIOS INTERNOS DEL CILINDRO SUPERIOR.	49
3.2.3 CALOR TRANSFERIDO POR LAS PAREDES DEL CILINDRO INFERIOR.	51
3.3 TRANSFERENCIA DE CALOR EN PAREDES COMPUESTAS	54
3.3.1 CALCULO DE LAS AREAS LATERALES.	54

3.3.2 CALOR DISIPADO POR EL TECHO.	58
3.4 CALOR TRANSFERIDO POR LOS GASES EN EL INTERIOR DEL HORNO.	59
3.4.1 TRANSFERENCIA DE CALOR POR RADIACION AL INTERIOR DEL HORNO POR LA MEZCLA DE GASES.	59
3.5 ANALISIS COMPARATIVO DEL CALOR TOTAL TRANSFERIDO COMO PARED PLANA Y CILINDROS CONCENTRICOS.	64
3.6 CALCULO DEL ESPESOR DEL LADRILLO AISLANTE	64
3.6.1 ANALISIS QUIMICO DE LOS REFRACTARIOS SELECCIONADOS	67
3.6.1.1 LADRILLO REFRACTARIO MAXIAL 310M (SP 1.01)	67
3.6.1.2 LADRILLO AISLANTE REFRACTARIO LEGRAL 26/7 (SP2.02)	68
3.6.2 CALCULO DEL PESO Y VOLUMEN REQUERIDO DE MATERIAL PARA LA INSTALACION.	70
3.6.3 DIMENSIONES DE LOS LADRILLOS A INSTALAR.	72

3.7 CALCULO DEL FLUJO DE CALOR POR LAS PAREDES DEL HORNO	76
3.7.1 CALCULO DE FLUJO DE CALOR	78
3.7.2 CALCULO DE LA CONDUCTANCIA TOTAL	80
3.7.3 GRADIENTE DE TEMPERATURAS	80
3.7.4 DIAGRAMA DE TEMPERATURAS DEL HORNO	81
3.8 CONSUMO DE COMBUSTIBLE	82
3.8.1 COSTO DE TONELADA DE CONCENTRADO DE ZINC POR HORA	83
3.8.2 CARGA DISTRIBUIDA EN LA SUPERFICIE DEL HORNO	84
3.9 HERRAMIENTAS PARA EL ASENTAMIENTO DE LADRILLOS REFRACTARIOS	86
3.10 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES DEL PROYECTO	87
3.11 ORGANIGRAMA DEL PROYECTO	88
3.11.1 RECOMENDACIONES PARA EL CONTROL DE CALIDAD	89
3.11.2 DOCUMENTOS DEL PLAN DE SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE	89
3.11.3 HOMOLOGACION DE PROCEDIMIENTOS	90

CAPITULO IV: ANALISIS ECONOMICO	91
4.1 COSTOS Y PRESUPUESTOS	92
4.1.1 DETALLE DEL COSTO DE LOS MATERIALES	92
4.1.2 COTIZACION GLOBAL	94
4.1.3 TIEMPO DE RECUPERACION DE LA INVERSION	95
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	96
5.1 CONCLUSIONES	97
5.2 RECOMENDACIONES	98
BIBLIOGRAFIA	99
APENDICE	101
A.1 LADRILLOS REFRACTARIOS CON ALTO CONTENIDO DE ALUMINA	102
TABLA A.1 VARIEDADES DE LADRILLOS RHI REFRACTARIO SEGÚN COMPOSICION QUIMICA	103
TABLA A.2 VARIEDAD DE LADRILLOS REFRACTARIOS RHI SEGÚN COMPOSICION QUIMICA	105

A.3 HOJA DE DATOS TECNICOS DE LOS LADRILLOS AISLANTES INSTALADOS EN REPARACIONES	109
A.4 HOJA DE DATOS TECNICOS DE LOS LADRILLOS REPSA	110
A.5 VARIEDAD DE FIBRA DE VIDRIO	113
A.6 VARIEDAD DE FIBRA CERAMICA	114
A.7 TABLAS DE DATOS TECNICOS DE MATERIAL REFRACATRIO USADO EN LA INSTALACION	115
TABLAS	127
FIGURAS	130
PLANO	132

DEDICATORIA:

A mis queridos padres Alejandro Enciso Lujan, Tarcila Arriaga Cuadros.

DEDICATORIA:

A cada uno de mis queridos hermanos.

AGRADECIMIENTO

A la Empresa Votorantim Metais por su apoyo,
con la información técnica para fines
academicos, en especial al Ing. Víctor Colan.

PROLOGO

El desarrollo de la tesis, titulada: "MEJORA TERMICA DEL HORNO DE LECHO FLUIDIZADO DE 45 TON/HR PARA TOSTACION DE CONCENTRADO DE ZINC EN LA REFINERIA DE CAJAMARQUILLA", me permitió volcar mis conocimientos de la ciencia de Ingeniería Térmica Aplicada asimilada en mi formación académica y en la experiencia pre-profesional que me toco desarrollar en el asentamiento y revestimiento de materiales refractarios en hornos industriales de las diferentes empresas nacionales.

En 1978 se instaló un horno de lecho fluidizado de 45Ton/h en la Refinería de Cajamarquilla. Lima-Perú para la tostación del concentrado de zinc y la producción posterior de las barras de zinc para la comercialización respectiva.

En los últimos años el horno está realizando paradas inesperadas no contempladas en el mantenimiento respectivo, esto debido al desgaste de los refractarios y caídas de ladrillos en el interior del horno, motivo por el

cual ocasiona incremento en el consumo de combustible por un inadecuado proceso de transferencia de calor.

El Perú se ubica actualmente en el cuarto productor de zinc a nivel mundial, es por eso que la empresa privada en este rubro: **VOTORANTIM METAIS** está realizando una ampliación de su planta para el incremento de su producción de zinc, de 160KTON a 320KTON.

Los cinco primeros países productores de Zinc a nivel mundial, son: China, Australia, Estados Unidos, Perú y Canadá, que contribuyen con alrededor del 68.5% de todo el metal a nivel mundial. Su producción se ha incrementado de forma sustancial en los últimos 50 años, pasando de 2 millones de TM en 1952 a 11 millones de TM hasta el año 2008, lo que podría ser explicado por su mayor demanda, sobre todo del sector construcción (especialmente por el crecimiento mostrado en los últimos diez años por parte de China e India).

INTRODUCCION

Si bien en el mercado existen una gama de hornos de lecho fluidizado de distintos tipos, calidades y dimensiones, pero no se ajustan a los requerimientos y las especificaciones que se necesita para el proceso de tostación de concentrado del zinc; es por ello que mediante la presente tesis formularemos una propuesta de mejora térmica del horno que responda a las necesidades tecnológicas particulares de ésta actividad en la Refinería de Cajamarquilla.

En ésta investigación veremos la importancia de los ladrillos y aislamientos refractarios en los hornos industriales que se usan en refinerías de petróleo, industria química, industria siderúrgica y metalúrgica, cementeras, ladrilleras, cerámicas, industrias del vidrio, etc. También veremos los tipos de aislante a instalar en nuestro horno.

En el capítulo I detallaremos el planteamiento del problema, objetivos de la investigación y la formulación de la hipótesis respectiva.

El capítulo II trata del marco teórico, tratándose el horno de lecho fluidizado, los refractarios utilizados y los modos de transferencia de calor en flujo permanente y unidimensional.

En el capítulo III mostraremos el análisis y metodología de los métodos realizados para la mejora térmica del horno (disminución de las pérdidas de calor en pared y techo).

En el capítulo IV mostraremos los costos de material, mano de obra y los ahorros anuales.

En el capítulo V se citan las conclusiones y recomendaciones del caso.

CAPITULO I

EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACION COMO OBJETIVOS Y PLANTEAMIENTO DE LA HIPOTESIS

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.1 FUNDAMENTACION

Los hornos de tostación de concentrado de zinc por lo general tienen deficiencias en el aislante térmico que recubre su superficie lateral; dicho aislante se desgasta debido a la producción permanente del zinc. El Horno de la Refinería de Cajamarquilla fue construido en 1978, y durante estas tres décadas de producción permanente los aislantes y los ladrillos refractarios han perdido sus propiedades térmicas, el interior del horno ya está desgastado; esta situación se ha acrecentado debido a la demanda del zinc, es por ello que la refinería duplicara su producción de 160kton a 320kton anuales.

Frente a esta situación surge nuestra propuesta como una alternativa de mejora térmica en el proceso de transferencia de calor del horno existente, se tendrá que mejorar el revestimiento del aislante refractario, para poder disminuir las pérdidas de calor.

1.1.2 ANTECEDENTES

En el desarrollo de la presente tesis se encontró algunas investigaciones y tesis desarrolladas en Empresas y Universidades dedicadas a la elaboración y fabricación de material refractario tales como, RHI, REPSA, HARBISON-WALKER, las cuales han desarrollado muchas investigaciones de las propiedades de los ladrillos refractarios. Las Universidades Nacionales también han desarrollado investigaciones sobre las variedades de hornos de tostación de las cuales se ha recolectado información que servirá de ayuda para el desarrollo de esta tesis, aquí algunas de las más importantes:

A. OPTIMIZACION TERMICA DEL HORNO ROTATORIO DE CAL EN LA FUNDICION DE ILO.

Autor: MARCO ANTONIO SANCHEZ SILVA.

Año: 1994

Universidad: Nacional de Ingeniería

Facultad: Ingeniería Mecánica -Eléctrica.

Problema de Tesis: El constante incremento de precios e impuesto de los combustibles que existe para la gran minería en especial el petróleo residual N°6.

Solución: Optimizar el aprovechamiento generado por la reacción química del petróleo residual N°6, en el complejo proceso de la combustión en el horno rotativo longitudinal de cal de la fundición de ILO perteneciente a SOUTHERN PERU COPPER CORPORATION, mediante el diseño del aislante y la recuperación del calor residual del enfriador de cal a través del intercambio de calor regenerativo para el pre calentador de aire primario de combustión.

B. MATERIALES REFRACTARIOS MONOLITICOS DE ALTA ALUMINA DENTRO DEL SISTEMA AL₂O₃-MGO-CAO.

Autor: DIAZ RODRIGUEZ LUIS ANTONIO.

Año: 2000.

Universidad: AUTONOMA DE MADRID.

Centro de lectura: CIENCIAS.

Centro de realización: FACULTAD DE CIENCIAS DE LA U. AUTONOMA DE MADRID.

Resumen: Este proyecto de investigación, se han estudiado tres posibles vías de obtención de hormigones refractarios es el sistema alúmina (Al₂O₃)- magnesia (MgO)- cal (CaO):

- Mezclas de alúmina, espinela sintética y cementos de aluminatos cálcicos.
- Mezclas de alúmina, magnesia y cementos de aluminatos cálcicos.

- Mezclas de alúmina, dolomía y cemento de aluminatos cálcicos.

En todos los casos, se han diseñado matrices que tras un tratamiento térmico a 1650°C están constituidas entre otras fases, por espinela y hex-aluminato cálcico. Se han estudiado las propiedades físico-químicas y el comportamiento termo mecánico de los materiales diseñados. Además, estos materiales han sido elaborados a escala industrial y estudiada su comportamiento en condiciones reales de utilización en cucharas de acia secundaria.

1.1.3 FORMULACION DEL PROBLEMA

¿De qué manera la mejora térmica del horno de lecho fluidizado de 45ton/h de concentrado de zinc, permite una disminución de transferencia de calor?

1.1.4 IMPORTANCIA Y JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACION

El aporte de la presente tesis es proponer una solución práctica y económica para disminuir las pérdidas por transferencia de calor, que se dan en el horno.

1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Alcanzar una disminución de la transferencia de calor en el horno de tostación de concentrado de zinc con la adición de una capa de ladrillo aislante refractario.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

A. Proponer una metodología de análisis y cálculo de mejora del proceso de transferencia de calor en el horno de tostación de concentrado de zinc.

B. Analizar y seleccionar el tabique refractario adecuado que contenga mayores concentraciones en los porcentajes de alúmina Al_2O_3 y sílice SiO_2 para mejorar sus propiedades.

C. Alargar la vida útil del horno y el ahorro de consumo de combustible.

1.2.3 ALCANCES DEL PROYECTO

El estudio abarca en particular a los hornos que se utilizan en el proceso de tostación de concentrados de zinc, por lo que centro mi análisis en el revestimiento interior del horno con la selección adecuada de los aislantes refractarios a instalar y el correcto asentamiento de los ladrillos.

1.2.4 LA UNIDAD DE ANALISIS

La Refinería de Zinc de Cajamarquilla se ubica en el Distrito de San Juan de Lurigancho, Carretera Central Kilometro 9.5.

Dirección Legal: Carretera. Central Km. 9.5 Cajamarquilla

Distrito / Ciudad: Lurigancho//Lima

Departamento: Lima

Actividad Industrial: Refinería de Zinc.

1.3 FORMULACIÓN DE LA HIPOTESIS

Mediante el incremento de una capa de ladrillo aislante refractario, se disminuirá el proceso de transferencia de calor; con una disminución en el consumo de combustible.

1.3.1 VARIABLES E INDICADORES

Si se incrementa una capa de ladrillo aislante refractario disminuirá la transferencia de calor en el horno de tostación de concentrado de zinc de la Refinería de Cajamarquilla.

Formula lógica

p  **q**

Donde: p=VD y q=VI

**Variables Dependientes (VD), Variable Independiente (VI),
Indicadores (IND),**

VD. Mejora térmica del horno de lecho fluidizado.

IND1. Mejora en el confort de trabajo de los operarios

IND2. Disminución del consumo de combustible.

IND3. Mantener el interior del horno a 950°C con el monitoreo respectivo.

VI. Incrementar una capa de ladrillo aislante refractario, mediante un análisis técnico económico.

IND. El espesor adecuado de los aislantes refractarios.

1.4 IMPORTANCIA DEL PROYECTO

La importancia de este proyecto es disminuir las pérdidas de transferencia de calor a través de las paredes y techo del horno de lecho fluidizado de 45Ton/h, para el cual se hace un análisis técnico económico de los refractarios a utilizarse para una disminución del consumo de combustible y evitar el desgaste acelerado de los refractarios; alargando de esta forma la vida útil del horno.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1 DEFINICIÓN DE HORNOS INDUSTRIALES

Los hornos industriales son los equipos o dispositivos utilizados en la industria, en los que se calientan por encima de la temperatura de ambiente, los materiales y las piezas o elementos colocados en su interior.

El objeto del calentamiento puede ser muy variado, por ejemplo:

- Alcanzar la temperatura necesaria para que se produzcan las reacciones necesarias para la obtención de un determinado producto.
- Fundir los metales.
- Ablandar para una operación de conformado posterior.
- Tratar térmicamente para impartir determinadas propiedades.
- Recubrir las piezas con otros elementos, operación que se facilita frecuentemente operando a temperatura superior a la del ambiente.

2.2 TIPOS DE HORNOS INDUSTRIALES

Atendiendo al tipo de efecto que el horno produce en el producto, se pueden tener:

- Hornos para producir efectos físicos en el producto, que a su vez pueden dividirse en:
 - Hornos de calentamiento.
 - Hornos de fusión.

- Hornos para producir efectos químicos en el producto(reducción sin fusión fusiones reductoras, sinterización, calcinación, tostación, volatización, reductora, volatización reductora, volatización reductora, volatización, metalotermas, etc).

La energía calorífica requerida para el calentamiento de los hornos puede proceder de:

1.- Gases calientes (llama) producidos en la combustión de combustibles sólidos, líquidos o gaseosos, que calientan las piezas por contacto directo entre ambos o indirectamente a través de paredes o tubos radiantes o intercambiadores en general.

2.-Energía eléctrica en diversas formas:

3- Arco voltaico de corriente alterna o continua.

4- Inducción electromagnética.

5- Alta frecuencia en forma de dielectricidad o microondas.

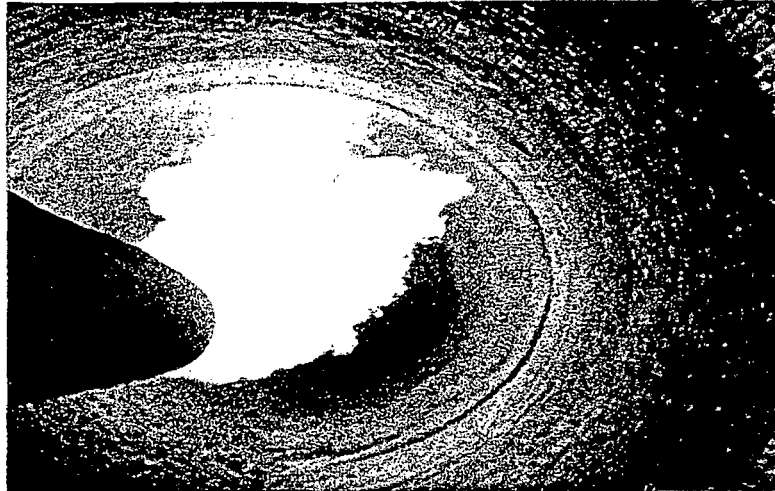
6- Resistencia óhmica directa de las piezas.

7- Resistencias eléctricas dispuestas en el horno que se calientan por efecto joule y ceden calor a la carga por las diversas formas de transmisión de calor.

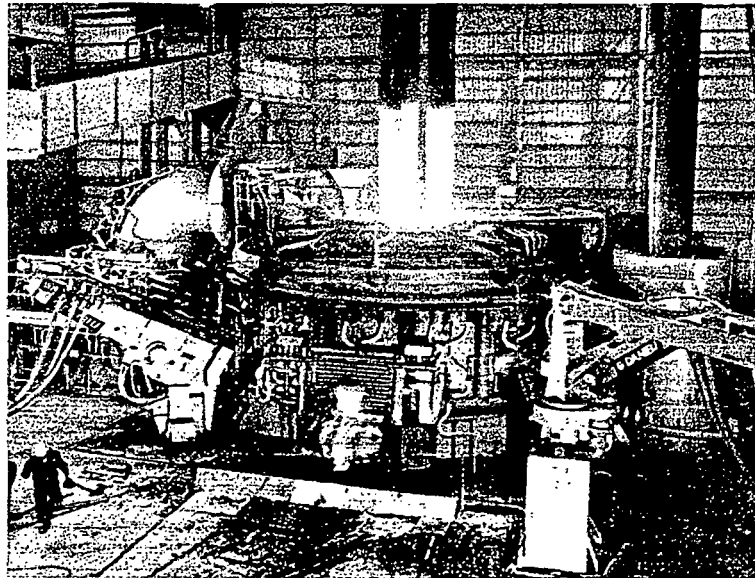
2.2.1 CLASIFICACION DE HORNOS INDUSTRIALES

La forma de calentamiento da lugar a la clasificación de los hornos de dos grandes grupos.

A. HORNOS DE LLAMA



B. HORNOS ELECTRICOS



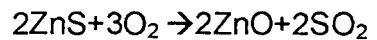
Con referencia al tipo de recinto, los hornos industriales pueden ser:

- Hornos de solera .
- Hornos de balsa .

- Hornos de soleras multiples.
- Hornos de solera giratoria.
- Hornos de tunel.
- Hornos rotativos.
- Hornos de solera móvil.
- Hornos de crisol.
- Hornos de mufla
- Hornos verticales de cuba.

2.3. EL HORNO DE LECHO FLUIDIZADO DE CONCENTRADO DE ZINC

Horno de lecho fluidizado es aquel que tuesta (oxidación) la blenda o concentrado de zinc de acuerdo a la siguiente reacción química:



La tostación debe de ser lo mas completa posible, por que si queda alguna cantidad de azufre, este provocará pérdida de una cantidad de zinc del orden del doble de aquella.

METALURGIA DEL ZINC

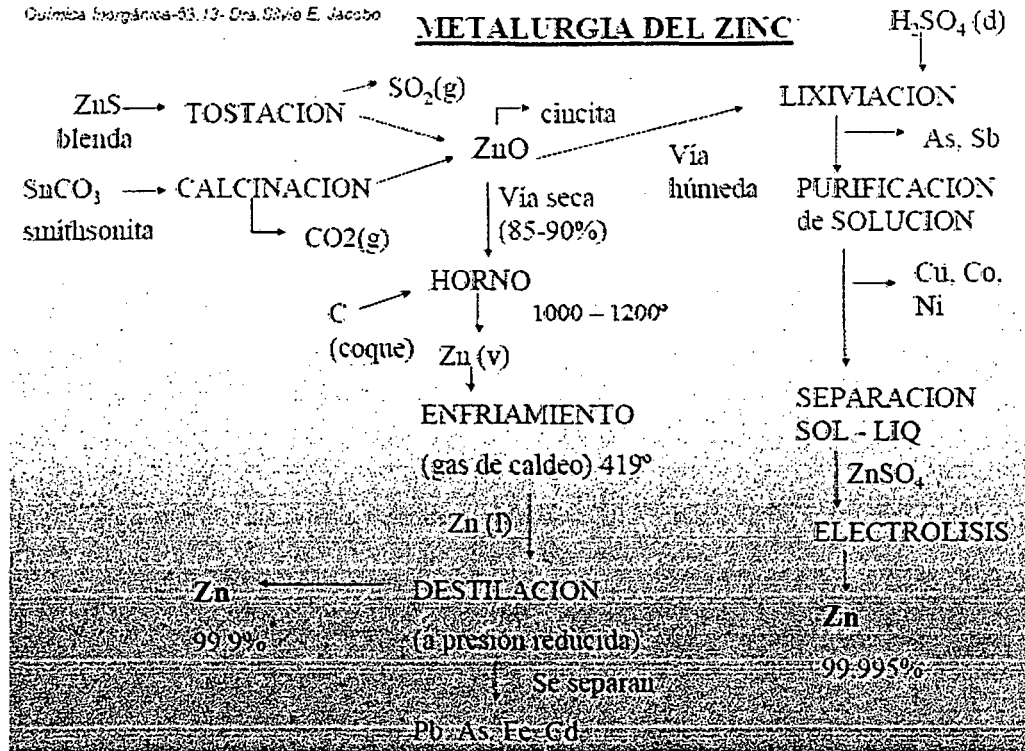


Fig. 2.1 Detalle del proceso de obtención del Zinc

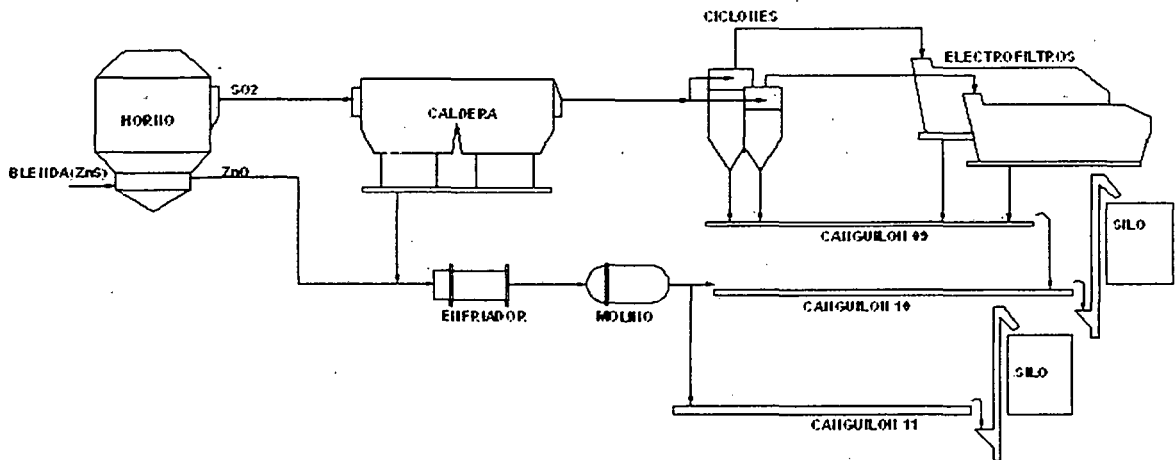


Fig. 2.2 Proceso de la Refinería de Zinc

2.4 REFRACTARIOS INDUSTRIALES

2.4.1 MATERIAL REFRACTARIO

Son refractarios aquellos materiales capaces de soportar elevadas temperaturas. Los materiales refractarios por excelencia son las cerámicas.

Los refractarios deben soportar altas temperaturas sin corroerse o debilitarse por el entorno. Los refractarios típicos están compuestos por diversas partículas gruesas de óxido aglutinadas con un material refractario más fino.

El material refractario, se utiliza en todos los hornos industriales que se usan en refinerías de petróleo, industria química, industria siderúrgica y metalúrgica, cementeras, ladrilleras, cerámicas, industrias del vidrio, etc.

2.4.2 CLASES DE MATERIAL REFRACTARIO

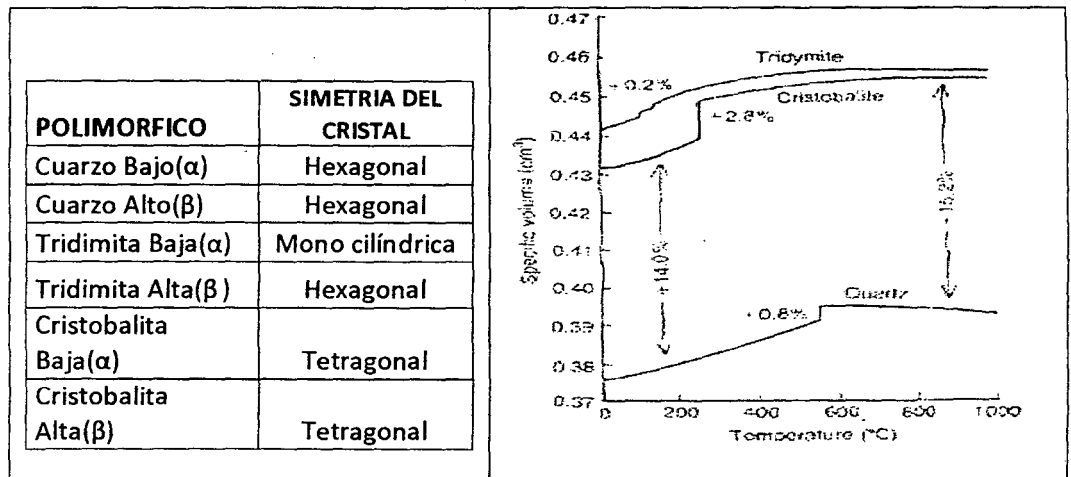
Los refractarios se dividen en cuatro grupos: ácidos, básicos, neutros y especiales con base en su comportamiento químico, detallándose a continuación:

- **Refractarios ácidos:** Incluyen las arcilla de sílice, de alúmina y refractarios de arcilla. La sílice pura a veces se utiliza para contener metal derretido. Los refractarios de arcilla por lo general son relativamente débiles, pero poco costosos. Contenidos de alúmina por arriba de aprox. 50% constituyen los refractarios de alta alúmina:

A. Sílice:

- El principal problema es el polimorfismo (Es la capacidad de un material sólido de existir en más de una forma o estructura cristalina, todas ellas con la misma composición de elementos químicos. Por ejemplo, el diamante y el grafito son polimorfos del carbono. La α -ferrita, la austenita y la δ -ferrita son polimorfos del hierro)

Tabla 2.1: Dependencia de temperatura y volúmenes específicos para cristales polimórficos (Fuente Catalogo de Refractarios Empresa RHI).



La transformación de sílice (SiO_2):

- Desplazativa: ($\alpha \leftrightarrow \beta$).
- Reconstructiva: cuarzo \leftrightarrow tridimita o cristobalita (rápidas en calentamiento; impedida en enfriamiento).
- Ladrillos con sílice (SiO_2) se calientan lentamente hasta 600°C debido a $\uparrow \Delta V$ (y $\uparrow \alpha$ (cuarzo))
- El calentamiento por encima de 600°C - 1450°C buena TSR ($\downarrow \alpha$).

B. Aluminosilicatos:

Sencillos, baratos y de altas prestaciones en función a los % de Al_2O_3 .

Tabla 2.2 Clases de Aluminosilicatos (Fuente Catalogo de Refractarios Empresa RHI).

REFRACTARIO	SUB GRUPO	%ALUMINA(AL ₂ O ₃)
Sílice		>7
Arcilla caliente	Sílice	7-22
	Ladrillo Refractario	22-38
	Alúmina	38-50
Alta Alúmina	Silimanita	50-65
	Mullita	65-75
	Bauxita	75-98

Suelen contener otras sustancias (Fe₂O₃, TiO₂ y álcalis)

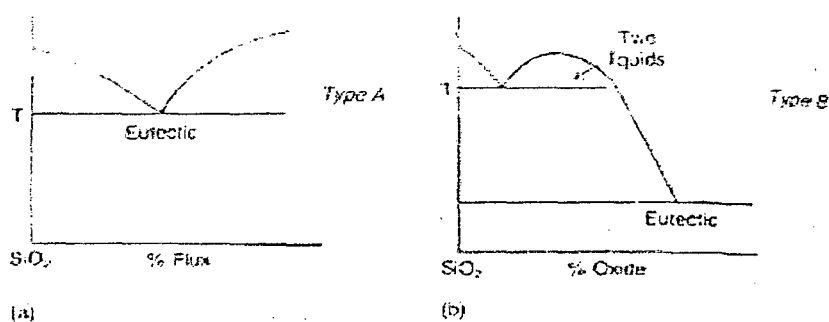


Fig. 2.3 Diagramas de fase binarios esquemáticos entre SiO₂ y otros óxidos (a) de tipo A resultar en eutéctico de fundición bajo formación y (b) de tipo B fluido líquido resultando en dos región líquida reemplazando el eutéctico al contenido aditivo más alto con un liquido viscoso.

Del grafico tipo "a" en la Fig. 2.3

Formadores de eutéctico ↓drásticamente T (Na₂O, K₂O, TiO₂, Al₂O₃).

TiO₂ tiene efectos catastróficos para los refractarios a ↑T.

Del grafico tipo "b" en la Fig. 2.3

CaO, MgO, FeO forman 2 líquidos viscosos y desplazan eutécticos a mayores composiciones.

CaO, disminuye la porosidad en la sinterización.

- **Refractarios Básicos:** Varios refractarios se basan en el MgO (magnesita o periclasa). El MgO puro tiene un punto de fusión alto, buena refractariedad, buena resistencia al ataque por los entornos que a menudo se encuentran en los procesos de:

Fabricación de acero. Típicamente, los refractarios básicos son más costosos que los refractarios ácidos.

- **Refractarios Neutros:** Normalmente incluyen la cromita y la magnesita, pueden ser utilizados para separar refractarios ácidos de los básicos, impidiendo que uno ataque al otro.

- **Refractarios Especiales:** El carbono, el grafito, es utilizado en muchas aplicaciones refractarias, particularmente cuando no hay oxígeno fácilmente disponible. Estos materiales refractarios incluyen el circonio (ZrO_2), el circón ($ZrO_2 \cdot SiO_2$) y una diversidad de nitruros, carburos y boruros.

Presentación del material refractario

- **Cemento refractario.** También denominado Castables, son preparados con mezcla de agua potable, se utiliza para rellenar partes complejas, en el que primero se encofra, luego se realiza el vaciado y

se vibra para evitar las burbujas de aire, se mezcla en maquinas mezcladoras mecánica, dependiendo de la cantidad a utilizar.

- **Mortero refractario.** Se utiliza como material de agarre, revestimiento de paredes, y para tomar las juntas entre hiladas de ladrillo refractario.
- **Ladrillo refractario.** El ladrillo refractario tiene sus caras lisas, lo que disminuye la adherencia con el mortero, resiste bien las altas temperaturas y la abrasión, es buen aislante térmico y es relativamente caro (actualmente el precio de un ladrillo refractario equivale aproximadamente al precio de diez ladrillos comunes).

2.4.3 CARACTERISTICAS DE LOS REFRACTARIOS USADOS EN LOS REVESTIMIENTOS DEL HORNO

Se presenta la lista de materiales que usaremos en la instalación:

- Ladrillos refractarios
- Morteros refractarios
- Concreto refractario
- Lana mineral

A. Ladrillo Refractario Maxial 310M (SP 1.01)

Ladrillo refractario de diferentes medidas usadas en el revestimiento del interior del horno de tostación de sulfuro de zinc.

Su presentación viene en diferentes medidas para el asentamiento, el análisis químico se muestra en la Tabla 2.3

Tabla 2.3 Análisis Químico

Componente Químico	Al ₂ O ₃	TiO ₂	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO
Concentración Química (%)	41.3	1.7	54	1.5	0.2	0.4

B. Ladrillo Aislante Refractario ASTM24 Legal 26/7(M40)(SP2.02)

Ladrillo aislante refractario instalado en la segunda capa del revestimiento del aislante refractario es de color blanco, viene en formas rectángulas y cuadradas, se pega con DIDURIT y el análisis químico se muestra en la Tabla 2.4

Tabla 2.4 Análisis Químico

Componente Químico	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	CaO	MgO
Concentración Química (%)	35	60	1.5	0.3	0.6	0.5

C. Ladrillo Aislante Refractario Pyrostop Isol 450 (SP 2.03)

Ladrillo aislante recubre en su totalidad toda la superficie interna del horno, tenemos la composición química se muestra en la Tabla 2.5

Tabla 2.5 Análisis Químico

Componente Químico	Al ₂ O ₃	TiO ₂	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO
Concentración Química (%)	14.8	0.5	66.5	4.1	4.2	2.1

D. Concreto Refractario C50 Didurit 168 0-5M(SP 3.01)

Castable usado en los encofrados viene en bolsas de 25kg y en polvo se mezcla en la maquinas mezcladora utilizando por cada bolsa 1.5lts de agua potable, para poder realizar el vaciado correspondiente se tiene que fabricar una cercha o molde donde se quiera instalar, tenemos la composición química se muestra en la Tabla 2.6

Tabla 2.6 Análisis Químico

Componente Químico	Al ₂ O ₃	TiO ₂	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO
Concentración Química (%)	67	2.3	27	1	1.5

E. Mezcla Plástica Mix Diplast 170 0-5M(SP.3.02)

Castables usado para la instalación en lugares donde se concentra mayor concentración de temperatura o en quemadores, viene en paquetes de 25kg se cortan en partes pequeñas y se apisona con apisonador neumático hasta que quede bien adherida a la superficie del ladrillo aislante, tenemos la composición química se muestra en la tabla 2.7

Tabla 2.7 Análisis Químico

Componente Químico	Al ₂ O ₃	TiO ₂	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO
Concentración Química (%)	80.2	2.7	14.7	1.2	0.6	0.3

F. Concreto ligero Pyroset 23VLI (SP. 4.02)

Concreto ligero sirve para instalar el aislante en formas complejas viene en bolsas de 20kg y en polvo, se mezcla con agua potable por cada bolsa del producto se usa, agua con 18lts, la composición química es la siguiente, tenemos la composición química en la Tabla 2.8

Tabla 2.8 Análisis Químico

Componente					
Químico	Al ₂ O ₃	TiO ₂	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO
Concentración					
Química (%)	47.4	0.7	31.7	0.50	17.6

G. Manta de Fibra Cerámica (Pyrostop blanket 128/1260) (SP.

5.01)

Manta cerámico más conocido como fibra de vidrio que se instala en las juntas de expansión, en la unión del ladrillo con el concreto refractario; tenemos la composición química en la Tabla 2.9.

Tabla 2.9 Análisis Químico

Componente		
Químico	AL ₂ O ₃	SiO ₂
Concentración		
Química (%)	44	56

H. Manta de Fibra Cerámica blanket, bulk Pyrofiber 1260(SP.

5.11)

Algodón cerámico, es un tipo de fibra pero más fino recubre todos los anclajes aislando del concreto refractario, tenemos la composición química en la Tabla. 2.10

Tabla 2.10 Análisis Químico

Componente							
Químico	AL ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	MgO
Concentración							
Química (%)	44	52	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1

I. JUNTA A ISLANTE 1100 (Pyrostop carto 110)(SP. 5.12)

Cartón aislante utilizado en el casco superior, es usado para aislar la base de los ladrillos refractarios con la chapa del horno, tenemos la composición química en la Tabla.2.11

Tabla 2.11 Análisis Químico

Componente	AL ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO
Químico				
Concentración	38	49	1	0.7
Química (%)				

J. Super wool 607 Blanket (SP. 5.21)

Lana que recubre toda la chapa externa del horno. Tenemos la composición química en la Tabla. 2.12

Tabla 2.12 Análisis Químico

Componente Químico	SiO ₂	CaO	MgO
Concentración Química (%)	62-68	26-32	3-7

K. Alloyed steel 1.4845 SP. 6.01

Anclajes de acero usados para fijar el concreto, tenemos la composición química en la Tabla. 2.13

Tabla 2.13 Análisis Químico

Componente Químico	Cr	Ni	S
Concentración Química (%)	24-26	19-21	26-32

L. Anclajes Alloyed Steel (SP.6.02)

Anclajes instalados en los quemadores se usa para fijar el concreto plastic mix, tenemos la composición química en la Tabla. 2.14

Tabla 2.14 Análisis Químico

Componente Químico	Cr	Ni	C	Si	P	S	Ti	Mn
Concentración Química (%)	17-19	35-39	≤0.10	≤2.5	≤0.03	≤0.3	≤0.2	≤1.5

M. Mortar M40 (Didotec 145V 0-0.5M) SP. 7.01

Mortero usado en la instalación o colocación de ladrillos tanto en ladrillos aislantes o refractarios este castable solo es usado en las área verticales, esta castable viene en baldes de 30kg. Y solo se tiene que batir con un mezclador eléctrico, dando un espesor de 2mm a 3mm, tenemos la composición química en la Tabla. 2.15

Tabla 2.15 Análisis Químico.

Componente Químico	AL ₂ O ₃	TiO ₂	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O
Concentración Química (%)	40	1.4	53.5	1.1	2.8	0.20

N. Mortero M60F (Resitec 180kv 0- 0.5M + Resitect Haerter)

SP.7.02

Mortero usado en la instalación de ladrillos del techo del horno se mezcla con el acelerante para el secado Resitec Haerter,

viene preparado en baldes solo para ser batido a gusto del instalador o refráctarista, el modo de preparación es con un mezclador eléctrico, tenemos la composición química en la Tabla. 2.16

Tabla 2.16 Análisis Químico

Componente Químico	AL ₂ O ₃	TiO ₂	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅
Concentración Química (%)	85	2.5	11	1	4.3

2.5 MATERIAL AISLANTE

Se define así a aquellos materiales cuya principal característica física es su baja conductividad térmica.

La conductividad térmica es la característica que expresa la mayor o menor dificultad del material para permitir la transferencia de calor.

2.5.1 CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LOS MATERIALES AISLANTES

Los materiales aislantes son fundamentales porque constituyen los elementos de construcción de los hornos. Los hornos intermitentes deben sufrir variaciones de temperatura cada vez más rápidas. Los hornos continuos también son sometidos a tensiones, puesto que

frecuentemente se les apaga o se les pone en temperatura de espera durante el fin de semana.

Precisando más las propiedades exigidas éstas son:

- Menor densidad aparente por la utilización de ladrillos refractarios ligeros mejorados o fibras de baja contracción.
- Temperaturas de aplicación comparativamente más elevadas, dilatación térmica reversible menor y más uniforme.
- Post contracción y post dilatación controladas y sin efecto para la estabilidad y duración del revestimiento.
- Conductividad térmica comparativamente menor a temperaturas superiores de uso.
- Resistencia al choque térmico.
- Alta precisión dimensional, homogeneidad de propiedades.
- Resistencia química y mecánica a los gases liberados por los productos y a los de combustión.

El poder del aislante está habitualmente en relación inversa con la temperatura máxima de uso, por esto se utilizan comúnmente construcciones multicapa, permitiendo utilizar materiales de menor conductividad a medida que disminuye la temperatura dentro de la pared del horno.

En el horno de tostación usaremos ladrillos aislantes refractarios en dos capas de aislantes en la segunda capa SP 2.02 Insulating fire Brick ASTM24 Legral 26/7(M40), y la primera capa SP 2.03 Insulating brick

Pyrostop Isol 450 (M40) las propiedades se señalan a continuación en la tabla de la Tabla 2.17 y Tabla 2.18

TABLA 2.17 Ficha técnica del ladrillo aislante LEGRAL 26/7

LEGRAL 26/7					
ITEM	PROPIEDAD	PADRON DE PRUEBA	CRITERIOS DE APROBACION		
				Ti	Ts
1,1	Análisis Químico	En ISO 12678	AL ₂ O ₃	>32%	
			SiO ₃		60,00%
			Fe ₂ O ₃		>1,8%
1,2	Densidad Mayor	En 1094-4		<0,75g/cm ⁴	
1,3	Fuerza de frio	En 1094-5		>1,5N/mm ³	
1,4	Dimensión exacta	Dimensión	tolerancia		
		>100mm	1,5%		
		<=100mm	102%		

TABLA 2.18 Ficha Técnica del ladrillo aislante PYROSTOP ISOL 450

PYROSTOP ISOL 450					
ITEM	PROPIEDAD	PADRON DE PRUEBA	CRITERIOS DE APROBACION		
				Ti	Ts
1,1	Análisis Químico	En ISO 12677	AL ₂ O ₃	>13%	
			SiO ₂		66,50%
			Fe ₂ O ₃		>7%
1,2	Densidad Mayor	En 1094-4		<0,44g/cm ³	
1,3	Fuerza de frio	En 1094-5		>=1N/mm ²	
1,4	Dimensión exacta	Dimensión	tolerancia		
		>100mm	1,5%		
		<=100mm	2%		

2.6 MODOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR EN FLUJO PERMANENTE-UNIDIMENCIONAL

2.6.1 CONDUCCION

Es un proceso mediante el cual fluye el calor dentro de un medio (sólido líquido o gaseoso) o entre medios diferentes en contacto físico directo.

$$q = -kA \frac{dT}{dx} \dots\dots\dots(2.1)$$

*Formula 2.1 extraida del libro de Principios de transferencia de calor Frank Kreith, pag. 8

2.6.1.1 PAREDES COMPUESTAS

En nuestro horno, el sistema está expuesto a un medio de alta temperatura constante y conocida las conductividades de los materiales se consideran constantes.

A= Área transversal (ft², m²)

T_i= Temperatura en el interior del horno (°K)

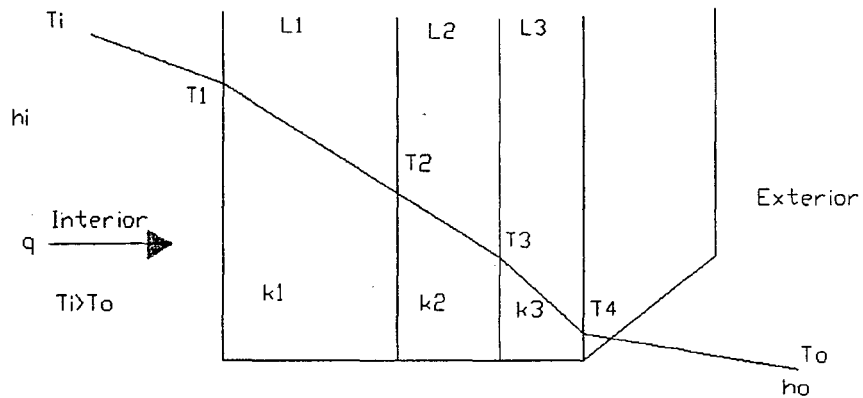
T_o= Temperatura en el exterior del horno (°K)

q= Flujo de calor (Btu/hr ft², cal/hr m², W/m²)

h_i= Coeficiente de transferencia de calor interno(Btu/h ft² °F, W/m² K)

$h_o =$ Coeficiente de transferencia de calor externo (Btu/hft² °F, W/m²K)

$k =$ Conductividad térmica del material (Btu/h ft °F, cal/h.m°C, W/m°C)



Circuito Térmico:

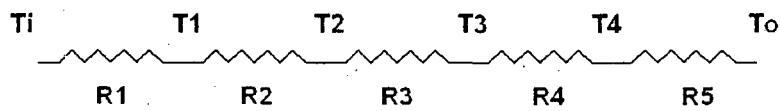
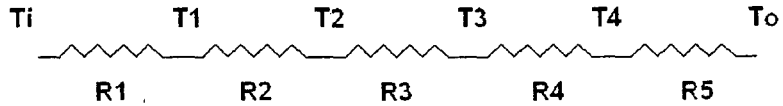


Fig.2.4 Distribución de temperatura y circuito térmico para el flujo a través de paredes compuestas

*Fuente Libro Principios de Transferencia de Calor, Frank Kreith pág. 34

Trazamos el circuito térmico:



Sentido de la transferencia de calor

Calor transferido en el interior:
$$Q = h_i A (T_i - T_1) = \frac{(T_i - T_1)}{R_1}$$

Calor transferido en la pared Interna:
$$Q = k_1 \frac{A}{L_1} (T_1 - T_2) = \frac{(T_1 - T_2)}{R_2}$$

Calor transferido en la pared Intermedia:
$$Q = k_2 \frac{A}{L_2} (T_2 - T_3) = \frac{(T_2 - T_3)}{R_3}$$

Calor transferido en la pared externa:
$$Q = k_3 \frac{A}{L_3} (T_3 - T_4) = \frac{(T_3 - T_4)}{R_4}$$

Calor transferido al ambiente exterior:
$$Q = h_o A (T_4 - T_o) = \frac{(T_4 - T_o)}{R_5}$$

Sumando las ecuaciones se tiene:

$$Q = \frac{(T_i - T_o)}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5}$$

Luego:

$$Q = \frac{(T_i - T_o)}{\sum_n R_n} = \frac{\Delta T}{R_{TOTAL}} = UA\Delta T \dots\dots\dots (2.2)$$

*Formula 2.2 Extraída del libro de Transferencia de Calor de Pablo

Díaz Bravo

Donde U es el coeficiente global de transferencia de calor.

$$U = \frac{1}{R_{total}}$$

2.6.1.2 CILINDROS CONCENTRICOS

El flujo radial de calor a través de cilindros concéntricos de diferentes conductividades térmicas , se encuentra en muchas instalaciones industriales. En condiciones de estado estable, la rapidez del flujo de calor a través de cada seccion será la misma y estara representada por:

Flujo para la supeficie interior: $q = 2\pi r_1 L h_i (T_i - T_1)$

Flujo para el cilindro interior: $q = 2\pi k_1 L \frac{(T_1 - T_2)}{\ln \left(\frac{r_2}{r_1}\right)}$

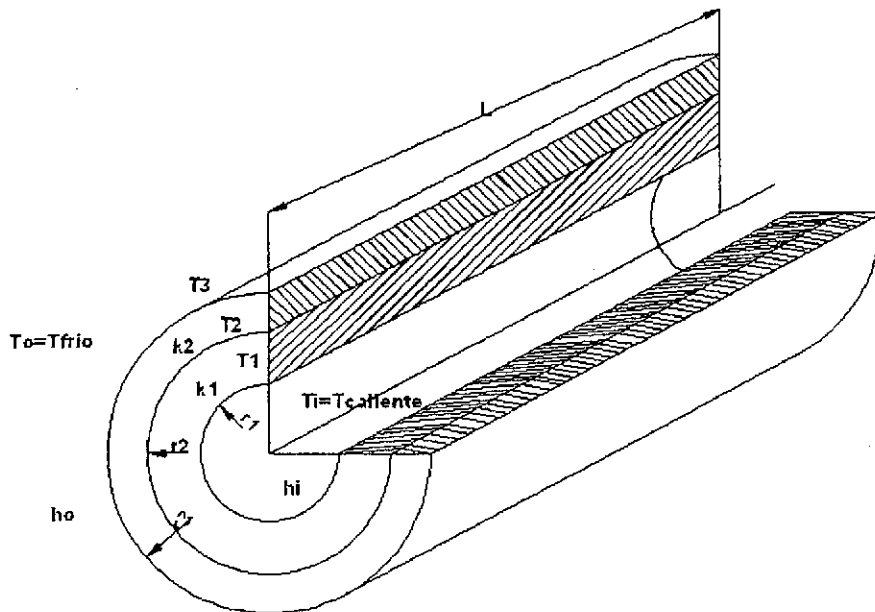


Fig. 2.5. Nomenclatura de una pared cilindro compuesto

*Fuente Fig. 2.5 Libro Principios de Transferencia de Calor, Frank Kreith pág. 39

Flujo para el cilindro exterior: $q = 2\pi k_2 L \frac{(T_2 - T_3)}{\ln \left(\frac{r_3}{r_2}\right)}$

Para la superficie exterior: $q = 2\pi r_3 L h_o (T_3 - T_0)$

Sumando se obtiene:

$$q = \frac{T_i - T_0}{\frac{1}{2\pi r_1 L h_i} + \frac{\ln \left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi k_1 L} + \frac{\ln \left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{2\pi k_2 L} + \frac{1}{2\pi r_3 L h_o}} \dots \dots \dots (2.3)$$

*Ecuacione (2.3) extraida del libro de Franck Kreith

TRANSFERENCIA DE CALOR pag. 39

2.6.2 RADIACION

Es un proceso por el cual fluye calor desde un cuerpo de alta temperatura a uno de baja temperatura, cuando éstos están separados por un espacio que incluso puede ser el vacío:

$$q_r = \sigma A_1 T_1^4 \dots\dots\dots(2.4)$$

q_r : Rapidez del calor transferido (w)

A_1 : Área de la superficie (m^2)

σ : constante de Stefan-Boltzman ($5.67 \times 10^{-8} \text{ w}/(m^2 \text{ K}^4)$)

T_1 : Temperatura de la superficie ($^{\circ}\text{K}$)

*Fuente de Fórmula (2.4) Libro Principios de Transferencia de Calor, Frank Kreith pág. 11

2.6.3 CONVECCION

Es un proceso de transporte de energía por la acción combinada de conducción de calor almacenamiento de energía y movimiento de mezcla.

La rapidez de calor transferido puede calcularse por la relación:

$$q_c = h_c A \Delta T \dots\dots\dots(2.5)$$

Donde:

q_c : Rapidez de calor transferido (w)

h_c : Conductancia Térmica ($\text{w}/m^2 \text{ }^{\circ}\text{K}$)

A : Área de la transferencia de calor (m^2)

ΔT : Diferencia de la superficie y el fluido ($^{\circ}K$)

*Fuente de Formula (2.5) Libro Principios de Transferencia de Calor, Frank Kreith pág. 13.

2.7 PREPARACION DE MATERIALES REFRACTARIOS

Para la preparacion de los materiales refractario es recomendable el uso del manual del fabricante y seguir todas las recomendaciones dadas.

2.7.1 MODO DE PREPARACIÓN DEL CASTABLE EN LA MEZCLADORA

La preparación del cemento refractario (DIDURIT 168) se realizara con la maquina mezcladora (Fig. 2.6) que consta de un motor de 3hp, se mezcla por un tiempo de 4min. Por cuatro bolsas de DIDURIT de 25kg se verterán de 5-6lts de agua, una vez realizado el vaciado se vibra para evitar formación de burbujas, se secura aproximada en 12 horas a condiciones atmosféricas normales.



Fig. 2.6 Máquina mezcladora de concreto refractario

	<p>Mezcla demasiado seca</p>
	<p>Bien regulado</p>
	<p>Mezcla con demasiada agua</p>

Fig. 2.7 Regulación de agua para la preparación del concreto refractario

En la figura 2.7 que muestra el concreto refractario debe quedar ni muy seco y ni muy aguado debe estar bien consistente, se muestran algunos de los concretos refractarios con demasiada agua y otro con la proporción correcta.

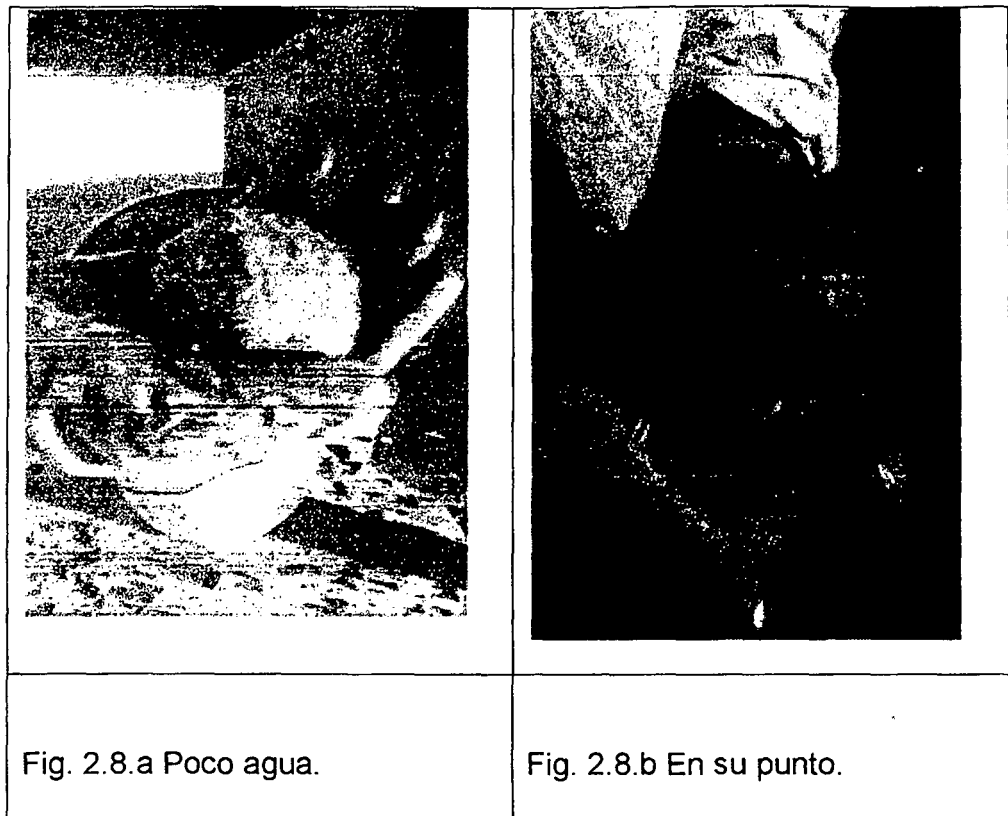


Fig. 2.8 Mezclas correcta de preparación de Concreto refractario

El DIDOTEC (SP.7.01) viene en presentaciones de 25kg ya preparado lo único que requiere es batir hasta que quede pastoso, la mezcladora es fundamental para poder preparar este tipo de Castable como se muestra en la Fig. 2.9

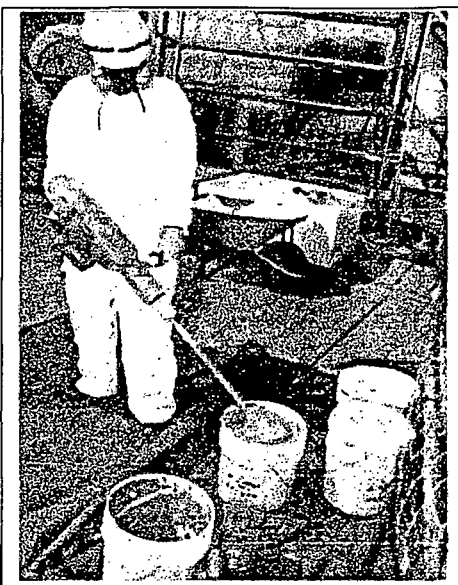


Fig. 2.9 Mezcladora manual

CAPITULO III

INGENIERIA DEL PROYECTO

3.1 ANALISIS Y METODOLOGIA DEL CÁLCULO.

Para poder realizar el análisis de la transferencia de calor en estructuras compuestas en estado estable a través de las paredes y techo del horno de tostación de 45Ton/h, tenemos dos métodos:

- Cilindros Concéntricos.
- Paredes Compuestas.

3.2 TRANSFERENCIA DE CALOR POR CILINDROS CONCENTRICOS.

El analisis se realizará en las dos partes fundamentales del horno el cilindro superior y el cilindro inferior.

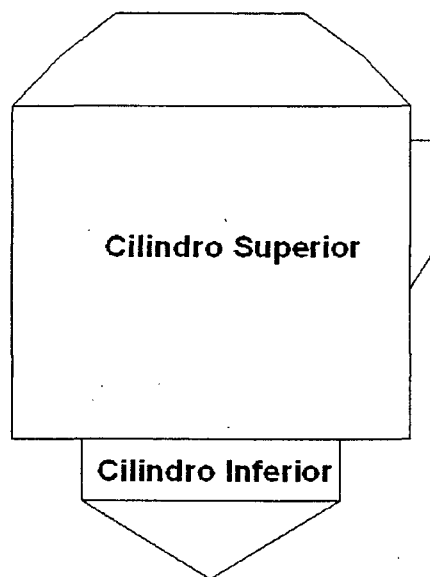


Fig.3.1 Detalle donde realizara los análisis.

3.2.1 CALOR TRANSFERIDO POR LAS PAREDES DEL CILINDRO SUPERIOR.

La transferencia se da en dirección radial en condiciones de estado estable.

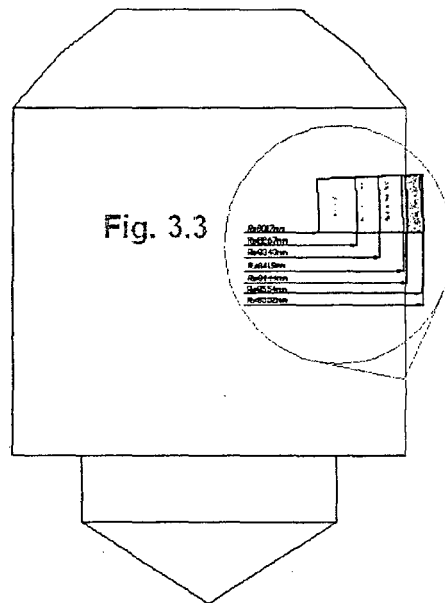
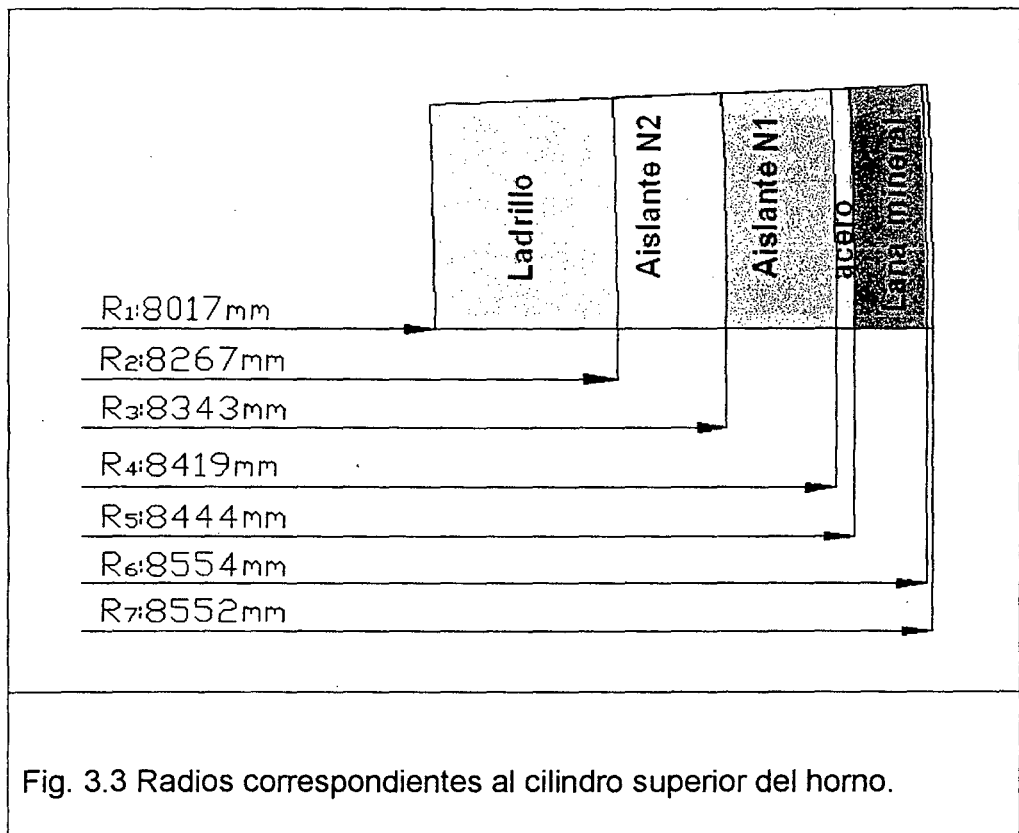


Fig 3.2 Detalle de la vista mostrada en la Fig 3.3



- R₁: Radio del ladrillo Refracatrio.
- R₂: Radio del ladrillo aislante refractario N2
- R₃: Radio del ladrillo aislante refractario N1.
- R₄: Radio de la plancha de acero.
- R₅: Radio de lana mineral.
- R₆: Radio de la plancha de alumineo.
- R₇: Radio exterior del horno.

3.2.2 DIMENSIONES DE LOS RADIOS INTERNOS DEL CILINDRO SUPERIOR.

$$R_1 = 8.017\text{m}, k_l = 1.6$$

$$R_2 = 8.267\text{m}, k_{A2} = 0.27$$

$$R_3 = 8.343\text{m}, k_{A1} = 0.14$$

$$R_4 = 8.419\text{m}, k_{pl} = 41.161$$

$$R_5 = 8.444\text{m}, k_{l.m} = 0.09$$

$$R_6 = 8.544\text{m}, k_{al} = 15$$

$$R_7 = 8.552\text{m}, H = 12.046\text{m}$$

$$T_i = 950^\circ\text{C}, h_i = 100$$

$$T_o = 30^\circ\text{C}, h_o = 8.8$$

T_i : Temperatura interior del horno($^\circ\text{C}$)

T_o : Temperatura exterior del horno($^\circ\text{C}$)

H : Altura (m)

h_o : Coeficiente de transferencia de calor externa ($\text{w}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$)

h_i : Coeficiente de transferencia de calor interna ($\text{w}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$)

k : Conductividad térmica ($\text{w}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$)

k_l : Conductividad térmica del ladrillo refractario.

k_{A2} : Conductividad térmica del ladrillo aislante N2.

k_{A1} : Conductividad térmica del ladrillo aislante N1.

k_{pl} : Conductividad térmica de la plancha de acero.

k_{lm} : Conductividad térmica de lana mineral.

k_{al} : Conductividad térmica de la plancha de aluminio.

$$Q_{c.sup} = \frac{(T_i - T_o)}{\left(\frac{1}{h_i R_1} + \frac{\ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)}{k_l} + \frac{\ln\left(\frac{R_3}{R_2}\right)}{k_{A2}} + \frac{\ln\left(\frac{R_4}{R_3}\right)}{k_{A1}} + \frac{\ln\left(\frac{R_5}{R_4}\right)}{k_{pl}} + \frac{\ln\left(\frac{R_6}{R_5}\right)}{k_l} + \frac{\ln\left(\frac{R_7}{R_6}\right)}{k_{al}} + \frac{1}{h_o R_7} \right) \frac{1}{2\pi H}} \dots (3.1)$$

*Formula 3.1 extraida del libro Principios de Transferencia de Calor, Frank Kreith
Pag.39

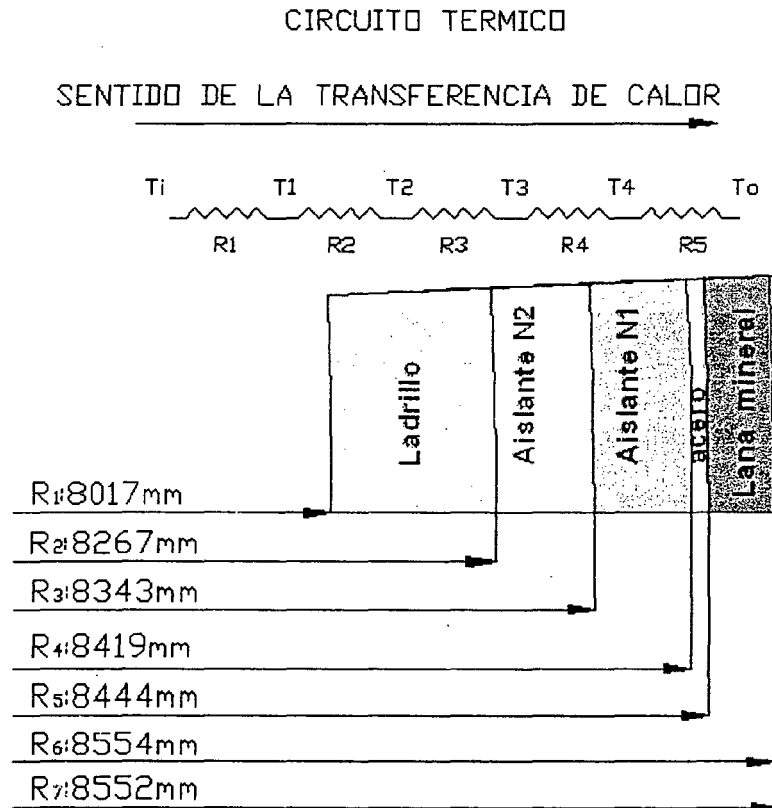


Fig.3.4 Circuito termico, direccion de la transferencia de calor.

Reemplazando los datos en la fórmula 3.1 tenemos el calor del cilindro superior

($Q_{c.sup}$):

$$Q_{c.sup} = 264.419\text{kw}$$

3.2.3 CALOR TRANSFERIDO POR LAS PAREDES DEL CILINDRO INFERIOR.

La transferencia se da en dirección radial en condiciones de estado estable, mostramos las medidas y las constantes térmicas detalladas a continuación.

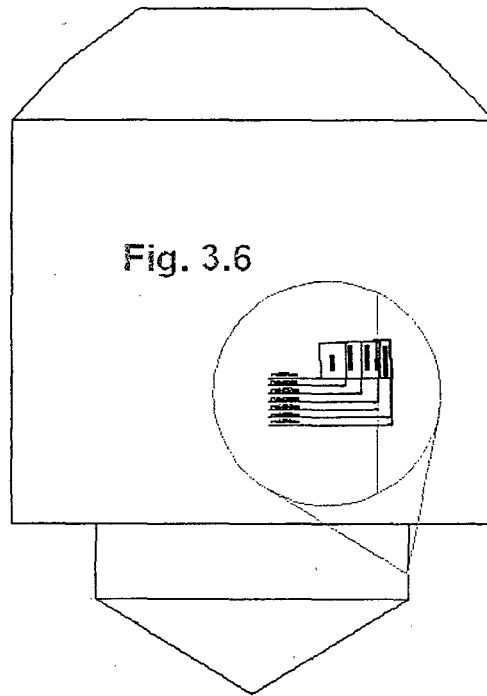


Fig. 3.5 Detalle de la vista mostrada en la Fig. 3.6

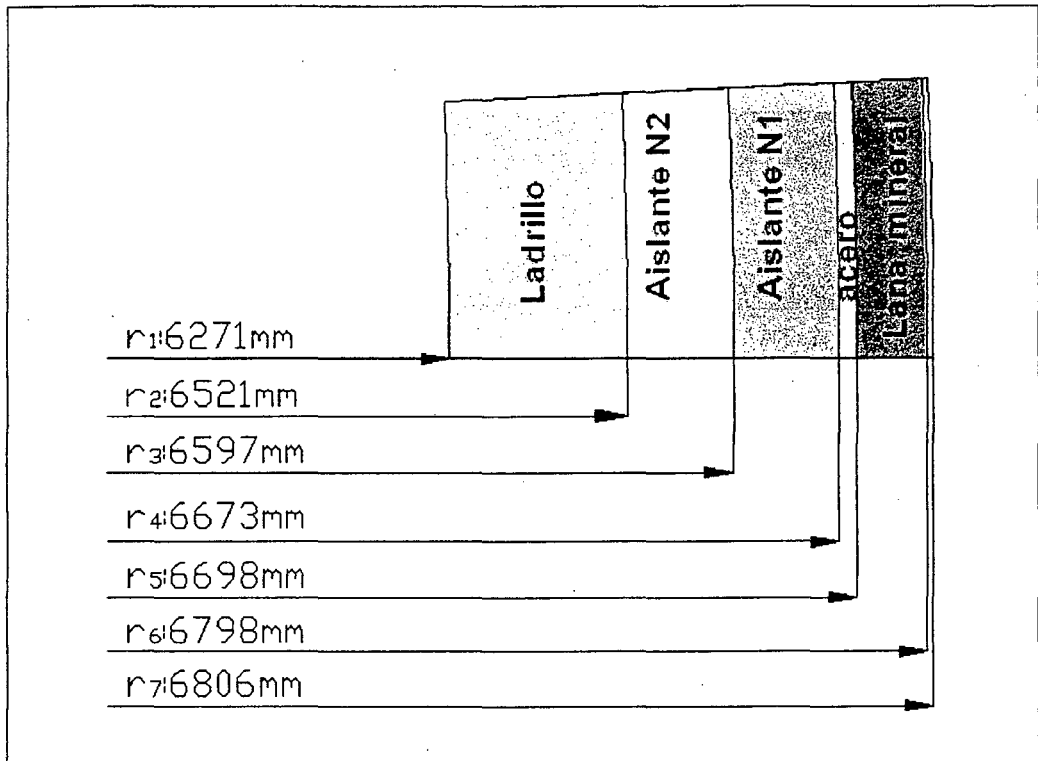


Fig. 3.6 Radios correspondientes al cilindro inferior del horno.

$$r_1 = 6.271\text{m}, \quad k_l = 1.6$$

$$r_2 = 6.521\text{m}, \quad k_{A2} = 0.27$$

$$r_3 = 6.597\text{m}, \quad k_{A1} = 0.14$$

$$r_4 = 6.673\text{m}, \quad k_{pl} = 41.161$$

$$r_5 = 6.698\text{m}, \quad k_{lm} = 0.09$$

$$r_6 = 6.798\text{m}, \quad k_{al} = 15$$

$$r_7 = 6.806\text{m}, \quad H = 3.465\text{m}$$

$$T_l = 950^\circ\text{C}, \quad h_l = 100$$

$$T_o = 30^\circ\text{C}, \quad h_o = 8.8$$

r_1 : Radio del ladrillo Refractario.

r_2 : Radio del ladrillo aislante refractario

r_3 : Radio del ladrillo aislante refractario

r_4 : Radio de la plancha de acero

r_5 : Radio lana mineral.

r_6 : Radio del aluminio.

r_7 : Radio del superficie exterior.

$$Q_{c.inf.} = \frac{(T_i - T_o)}{\left(\frac{1}{h_i r_1} + \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{k_l} + \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{k_{A2}} + \frac{\ln\left(\frac{r_4}{r_3}\right)}{k_{A1}} + \frac{\ln\left(\frac{r_5}{r_4}\right)}{k_{pt}} + \frac{\ln\left(\frac{r_6}{r_5}\right)}{k_{al}} + \frac{\ln\left(\frac{r_7}{r_6}\right)}{k_{lm}} + \frac{1}{h_o r_7}\right)} \frac{1}{2\pi H}} \dots (3.2)$$

*Formula 3.2 extraida del libro Principios de Transferencia de Calor, Frank Kreith

Pag.39

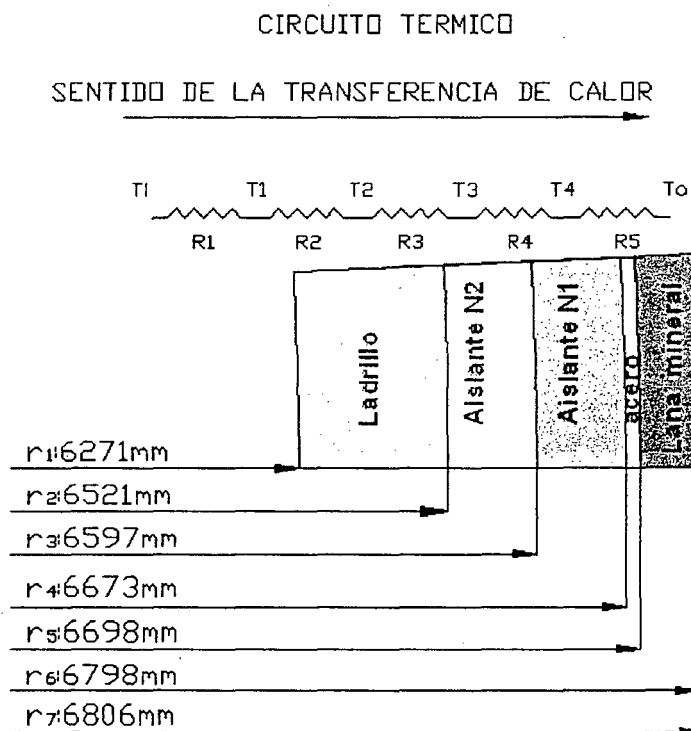


Fig. 3.7 Circuito termico, direccion de la transferencia de calor.

Reemplazando los datos en la fórmula 3.2 tenemos el calor del cilindro inferior

($Q_{c.inf.}$):

$$Q_{C.Inf} = 60.277\text{kW}$$

$$Q_{T.Cild} = Q_{C.sup} + Q_{C.Inf} = 324.696\text{Kw}$$

3.3 TRANSFERENCIA DE CALOR POR PAREDES COMPUESTAS

El analisis se realizara en las dos partes fundamentales del horno las paredes del horno y el techo del horno.

3.3.1 CALCULO DE LAS AREAS LATERALES.

Para más detalle las medidas se pueden apreciar en el plano P.01 del proyecto que esta al final de ésta tesis.

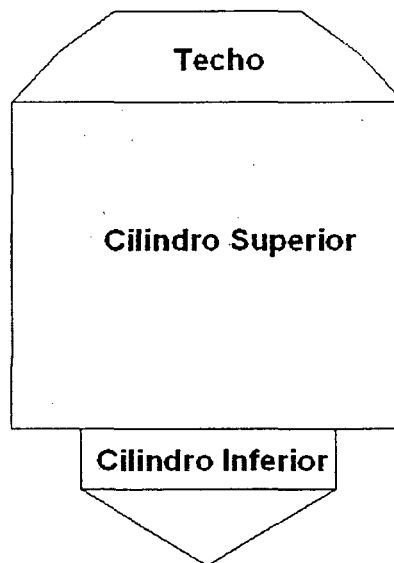


Fig.3.8 Detalle de las áreas.

Área lateral cilindro inferior:

$$A_{L.C.Inf} = 2\pi rh$$

$$A_{L.C.Inf} = 12.542 * 3.465 = 136.52775\text{m}^2$$

Área lateral de cono:

$$A_{L.Cn} = \pi(R + r)g$$

$$A_{L.Cn} = \pi * (12.542 + 16.034) * 5 * 0.5 = 224.43590\text{m}^2$$

Área lateral cilindro superior:

$$A_{L.C.Sup} = \pi dh$$

$$A_{L.C.Sup} = \pi * 16.034 * 7.251 = 365.25038\text{m}^2$$

Área del techo:

$$A_{L.tch} = \pi * 2 * r * h$$

$$A_{L.tch} = \pi * 2 * 11.050 * 3.63 = 252.0279\text{m}^2$$

Donde:

A_L : es el área lateral (m^2)

R : es el radio mayor (m)

r : es el radio menor (m)

h : es la altura (m)

g : es la generatriz (m)

Dimenciones de los espesores y conductividades térmicas:

$$L_1 = 0.250\text{m}, \quad k_l = 1.6$$

$$L_2 = 0.076\text{m}, \quad k_{A2} = 0.27$$

$$L_3 = 0.076\text{m}, \quad k_{A1} = 0.14$$

$$L_4 = 0.025m, \quad k_{pl} = 41.161$$

$$L_5 = 0.1m, \quad k_{lm} = 0.09$$

$$L_6 = 0.008m, \quad k_{al} = 15$$

$$T_i = 950^\circ\text{C}, \quad h_i = 100$$

$$T_o = 30^\circ\text{C}, \quad h_o = 8.8$$

$$A_{Lateral} = A_{L.C.Inf} + A_{L.Cn} + A_{L.C.Sup} = 726.214m^2$$

L_1 : Espesor del ladrillo refractario

L_2 : Espesor del ladrillo aislante N°2.

L_3 : Espesor del ladrillo aislante N°1

L_4 : Espesor de la plancha de acero.

L_5 : Espesor de lana mineral.

L_6 : Espesor de plancha de aluminio.

$A_{Lateral}$: Area de la superficie lateral del horno.

$$Q_{pared\ plan} = \left(\frac{T_i - T_o}{\frac{1}{h_i} + \frac{L_1}{k_l} + \frac{L_2}{k_{A2}} + \frac{L_3}{k_{A1}} + \frac{L_4}{k_{pl}} + \frac{L_5}{k_{lm}} + \frac{L_6}{k_{al}} + \frac{1}{h_o}} \right) A_{lateral} \dots (3.3)$$

*Formula 3.3 extraida del libro Transferencia de Calor, Pablo Diaz Bravo Pag.69

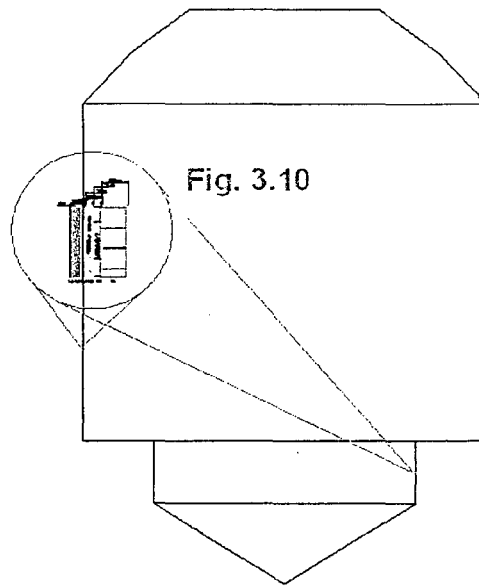
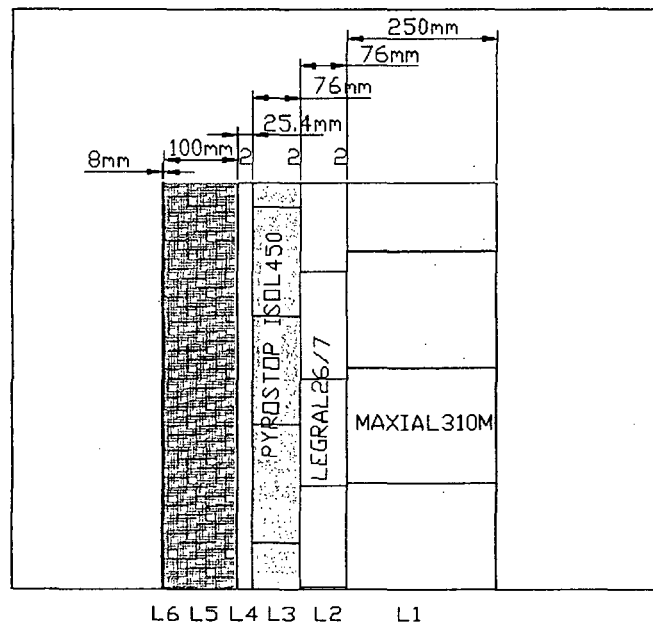


Fig. 3.9 Detalle de la vista mostrada en la fig.3.10



Sentido de la transferencia de calor →

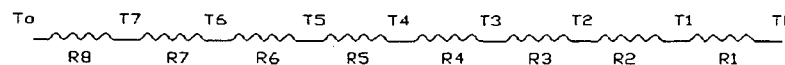


Fig. 3.10 Circuito térmico y detalle de la pared plana.

Reemplazando los datos en la formula 3.3 tenemos el calor de las paredes compuestas ($Q_{P.Plana}$)

$$Q_{P.plana} = 301.431kw$$

3.3.2 CALOR TRANSFERIDO POR EL TECHO

$$L_1=0.350m, \quad k_1=1.6$$

$$L_2=0.150m, \quad k_{A1}=0.14$$

$$L_3=0.30m, \quad k_{lm}=0.09$$

$$L_4=0.025m, \quad k_{pl}=41.161$$

$$L_5=0.008m, \quad k_{al}=15$$

$$A_{L.Tcho}=252.0279m^2$$

$$T_i=950^\circ C, \quad T_o=30^\circ C$$

$$h_i=100, \quad h_o=8.8$$

Donde:

L₁: Espesor del ladrillo refractario del techo.

L₂: Espesor del ladrillo aislante del techo.

L₃: Espesor de la lana mineral.

L₄: Espesor de la plancha acero al carbono 1.0%

L₅: Espesor de la plancha de Aluminio

$$Q_{Techo} = \left(\frac{T_i - T_o}{\frac{1}{h_i} + \frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_{A1}} + \frac{L_3}{k_{lm}} + \frac{L_4}{k_{pl}} + \frac{L_5}{k_{al}} + \frac{1}{h_o}} \right) A_{L.tch} \dots (3.4)$$

*Formula 3.4 extraida del libro Transferencia de Calor, Pablo Diaz Bravo Pag.69

Remplazando en la formula 3.4 tenemos:

$$Q_{Techo} = 48.843kw$$

Transferencia de calor total en paredes compuestas

$$\Rightarrow Q_{T.P.PLANA} = Q_{P.plana} + Q_{Techo} = 350.274Kw$$

3.4 CALOR TRANSFERIDO POR LOS GASES EN EL INTERIOR DEL HORNO

3.4.1 TRANSFERENCIA DE CALOR POR RADIACION AL INTERIOR DEL HORNO POR LA MEZCLA DE GASES.

Cálculo de la emisividad para hallar la transferencia de calor por radiacion en la mezcla de gases de combustión es 78% de N₂, 6% de H₂O, 11% de O₂ y 5% de CO₂.

$$P = 0.1bar = 0.09869atm \text{ (presion en el interior del horno)}$$

El análisis volumétrico permitira determinar las fracciones molares, las cuales son equivalentes a las fracciones de presión en una mezcla de gases ideales:

Calculamos las presiones parciales del CO₂ y el H₂O.

$$P_c = y_{CO_2}P = 0.05(0.09869atm) = 0.0049345atm$$

$$P_w = y_{H_2O}P = 0.06(0.09869atm) = 0.0059214atm$$

Las longitud media del haz para un cilindro de diámetro y altura iguales ($H/D = 1.19 \cong 1$), para la radiación emitida hacia todas las

superficies, según la tabla 3.1 del libro de YUNUS TRANSFERENCIA DE CALOR SEGUNDA EDICION.pag. 645

TABLA 3.1 LONGITUD MEDIA DEL HAZ "L" PARA VARIAS FORMAS DE VOLUMEN DE GAS	
Configuracion geometrica del volumen del gas	L
Esfera de diametro D irradiando hacia su superficie	0.65D
Cilindro circular infinito de diametro D irradiando hacia la superficie curva	0.95D
Cilindro circular infinito de diametro D irradiando hacia el centro de su base	0.65D
Cilindro circular semi infinito de diametro D irradiando hacia el centro de su base	0.90D
Cilindro semicircular infinito de radio R irradiando hacia el centro de su base	1.26R
Cilindro circular de altura igual al diametro D irradiando hacia toda la superficie	0.60D
Cilindro circular de altura igual al diametro D irradiando hacia el centro de su base	0.71D
Losa infinita de espesor de espesor D irradiando hacia cualquiera de los dos planos que la limitan	1.80D
Cubo de longitud L por lado irradiando hacia cualquiera de las caras	0.66L
Forma arbitraria de volumen V y area superficial A_s irradiando hacia la superficie	$3.6/A_s$

$$L = 0.60D = 0.60(16.034m)$$

$$= 9.6204m \text{ (longitud media del haz)} = 31.56 \text{ ft}$$

$$P_c L = 0.0049345 \text{ atm}(9.6204m)$$

$$= 0.047m \cdot \text{atm}$$

$$= 0.1557 \text{ ft} \cdot \text{atm}$$

$$P_w L = 0.0059214 \text{ atm}(9.6204m) = 0.056m \cdot \text{atm}$$

$$= 0.1868 \text{ ft} \cdot \text{atm}$$

Temperatura del gas $T_g = 1223^\circ K$

Las emisividades del CO_2 y H_2O tomados de la Fig. 3.11

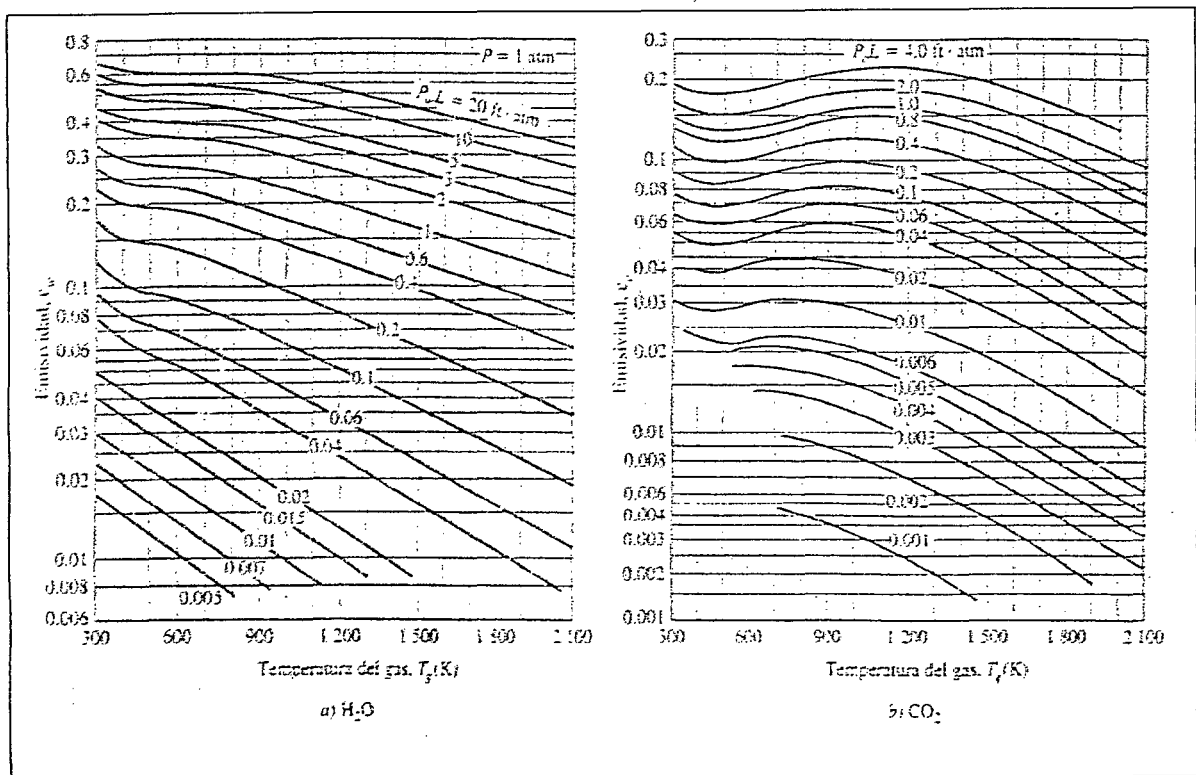


Fig. 3.11 EMISIVIDADES DE CO_2 Y H_2O .

* Fuente libro de Transferencia de Calor Segunda edición YUNUS A. CENGEL.

Pag.643

$$\epsilon_c = 0.085$$

$$\epsilon_w = 0.075$$

Es necesario corregir estos valores ya que son para 1atm y nuestro calculo se esta realizando para 0.09869atm según la Fig. 3.12

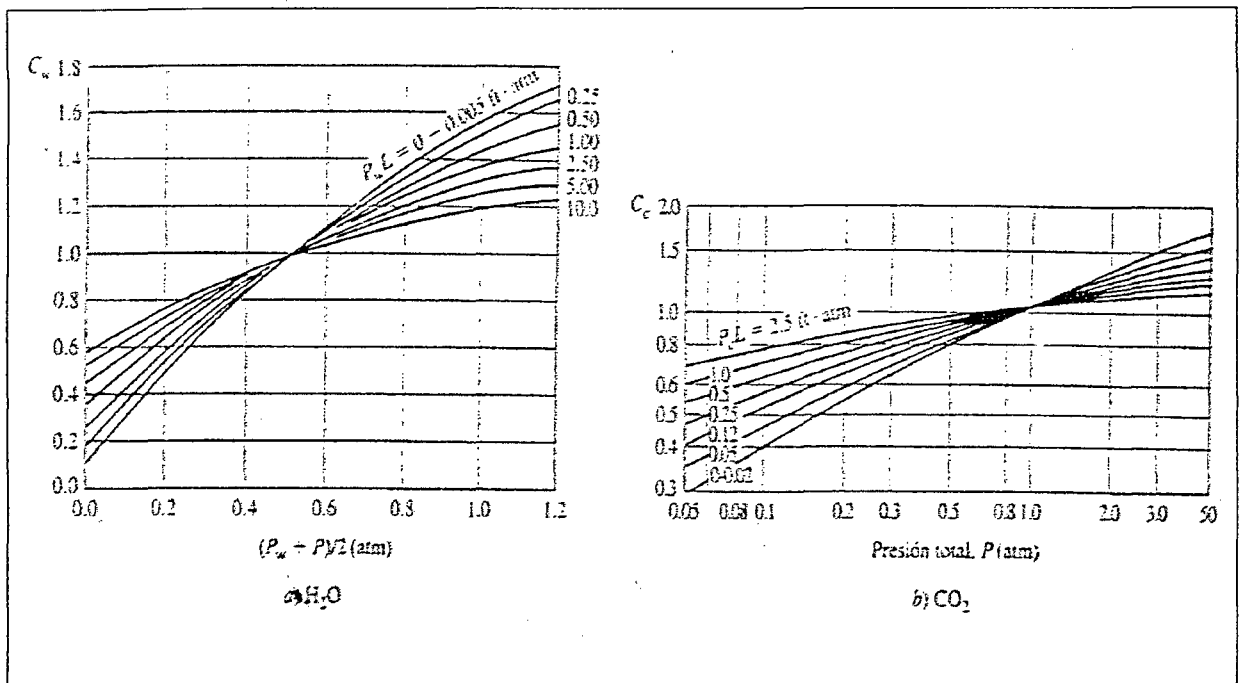


Fig. 3.12 Factor de Correccion para emisividades de CO₂ Y H₂O.

* Fuente libro de Transferencia de Calor Segunda edición YUNUS A. CENGEL.

Pag.643

$$\frac{P_w + P}{2} = \frac{0.0059214 + 0.09869}{2} = 0.0523057 \text{ atm}$$

$$C_w = 0.21$$

$$C_c = 0.521$$

Calculo del factor de correccion de la emisividad a $T_g = 1223^{\circ}K$, en la Fig. 3.13

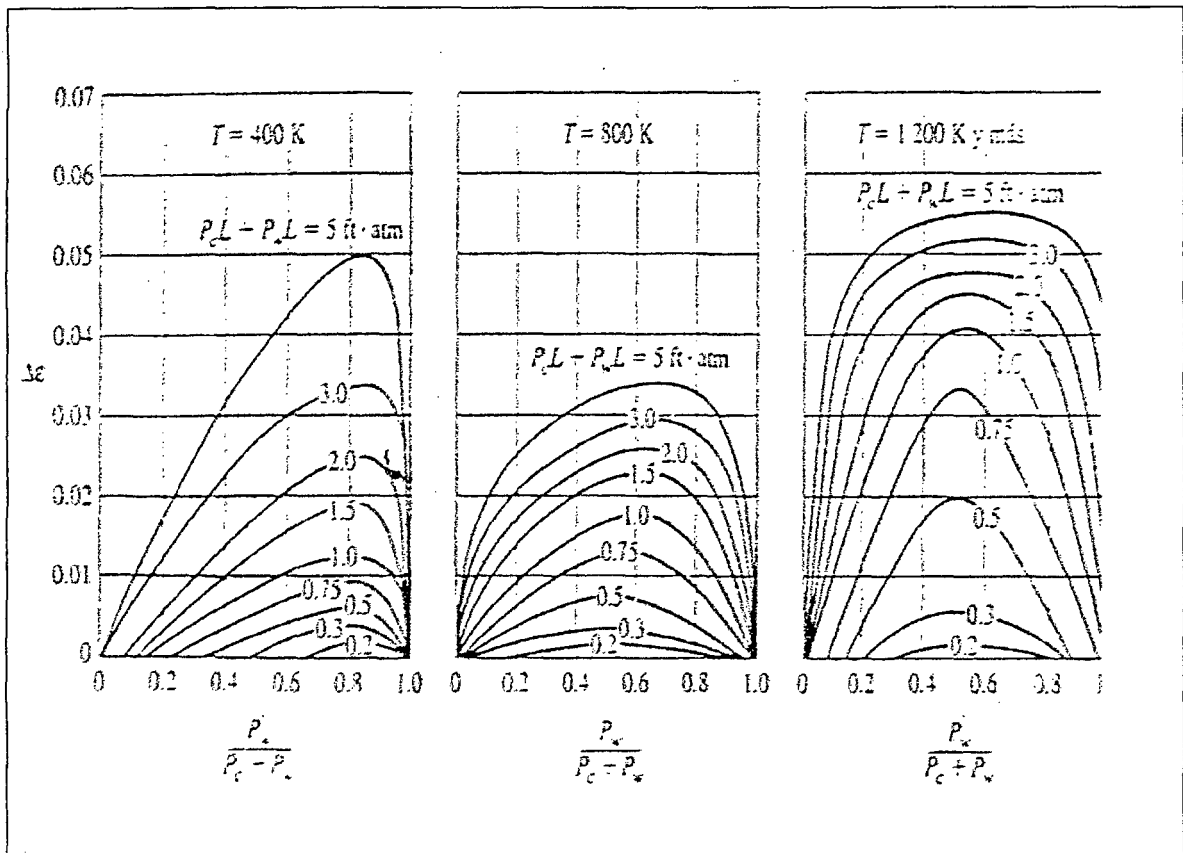


Fig 3.13 Correccion de Emisividad $\Delta\epsilon$ de CO_2 y H_2O .

*Fuente libro de Transferencia de Calor Segunda edición YUNUS A. CENGEL.

Pag.643

$$P_cL + P_wL = 0.3425atm$$

$$\frac{P_w}{P_w + P_c} = 0.5454atm$$

$$\Delta\epsilon = 0.005$$

$$\epsilon_g = C_c \cdot \epsilon_c + C_w \epsilon_w - \Delta\epsilon$$

$$\epsilon_g = 0.055$$

$$Q_{Radiacion} = A_T \cdot \sigma \cdot \epsilon_g \cdot T_g^4$$

$$Q_{Radiacion} = 978.24200 \cdot 5.67 \times 10^{-8} \cdot 0.055 \cdot 1223^4$$

$$Q_{Radiación} = 6824.924kw$$

3.5 ANALISIS COMPARATIVO DEL CALOR TOTAL TRANSFERIDO COMO PARED PLANA Y CILINDROS CONCENTRICOS

Calor total calculado por pared plana

$$Q_{TI} = Q_R + Q_{Pared\ plana} + Q_{Techo}$$

$$Q_{TI} = 7175.195kw$$

Calor total calculado por cilindros concentricos:

$$Q_{TII} = Q_R + Q_{cilin.conc} + Q_{Techo}$$

$$Q_{TII} = 7198.461kw$$

Como podemos apreciar la transferencia de calor por el metodo de pared plana y cilindros concentricos son similares, para fines de calculo se realizará con el metodo de pared plana.

3.6 CALCULO DEL ESPESOR DEL LADRILLO AISLANTE

Para el cálculo del espesor del ladrillo aislante refractario usaremos el método ya seleccionado de paredes compuestas y la fórmula 3.3.

$$Q_{pared\ plana} = \left(\frac{950 - 30}{\frac{1}{100} + \frac{0.150}{1.6} + \frac{0.076}{0.27} + \frac{0.076}{0.14} + \frac{0.025}{41.161} + \frac{0.1}{0.09} + \frac{0.08}{15} + \frac{1}{8.8}} \right) \times 726.214$$

$$Q_{pared\ plana} = 301.432kw$$

En la Tabla 3.2 mostramos los cálculos realizados para diferentes espesores en el programa Excel.

TABLA. 3.2 ANALISIS DEL ESPESOR DEL AISLANTE

Espesor All(m)	Espesor Al(m)	Q(kw)	GPH QP.PLANA	GPHTOTAL
0	0,154	268,090	6,797	181,077
0,056	0,096	292,359	7,413	181,692
0,06	0,092	294,130	7,457	181,737
0,066	0,086	296,826	7,526	181,805
0,07	0,082	298,652	7,572	181,851
0,076	0,076	301,432	7,643	181,922
0,08	0,072	303,314	7,690	181,970
0,086	0,066	306,183	7,763	182,042
0,09	0,062	308,125	7,812	182,092
0,096	0,056	311,086	7,887	182,167
0,1	0,052	313,091	7,938	182,218
0,154	0	340,440	8,632	182,911

Se muestra el cálculo de la transferencia de calor de las paredes del horno; el calor perdido disminuye a medida que disminuye el espesor del aislante All, pero el aislante (Al) aumenta el espesor.

Para tal efecto tiene que estar en un equilibrio se toma los espesores iguales, entonces el aislante (Al) tendrá que disminuir y el aislante All aumentar, es recomendable el incremento del aislante All debido a la resistencia al choque térmico, resistencia mecánica a los gases liberados por la combustión.

- Refractarios ácidos: Se basan mayormente en SiO_2 - Al_2O_3
- Propiedades: Tienen alta refractariedad.
- Alta resistencia mecánica.

Rigidez a temperatura cercana a sus puntos de fusión

La diferencia en propiedades según el cuadro mostrado en la tabla.

3.3 y en la tabla 3.4

TABLA 3.3 COMPARACION DE LADRILLOS REFRACTARIOS	
MAXIAL 310M	VARNON
-Tiene una temperatura de servicio de 1200-1300°C	-Tiene una temperatura de servicio de 1600°C.
-Mayor densidad 2330kg/m ³ .	-Tiene una densidad de 2195kg/m ³ .
-Mayor resistencia a la compresión 60N/mm ²	-Resistencia a la compresión de 12.1N/mm ²
-Porcentaje de porosidad 14%	-Porcentaje de porosidad 15.3%
-Precio en dólares \$2.99+importación	-Precio en dólares \$ 3.77+importacion

TABLA 3.4 COMPARACION DE LOS LADRILLOS AISLANTES	
LEGRAL 26/7(M40)	TJM23
-Tiene una temperatura de servicio de 1250-1320°C	-Tiene una temperatura de servicio de 1260-1538°C.
-Mayor densidad 700kg/m ³ .	-Tiene una densidad de 800kg/m ³ .
-Mayor resistencia a la compresión 1.5N/mm ²	-Resistencia a la compresión de 1.2N/mm ²
-Porcentaje de porosidad 48%	-Porcentaje de porosidad 30%
-Precio en dólares \$3.14+importacion	-Precio en dólares \$ 3.50+importacion

Debido a las propiedades químicas y mecánicas se selecciona estos refractarios:

- Maxial 310m como ladrillo refractario.
- Legral 26/7 (M40) como aislante refractario. Capa All
- Pyrostop Isol 450 (M40)

3.6.1 ANALISIS QUIMICO DE LOS REFRACTARIOS SELECCIONADOS

De los datos detallados en el capítulo II tenemos los siguientes valores que a continuación mostraremos para la selección adecuada del ladrillo aislante refractario, utilizaremos los datos técnicos que muestra la ficha técnica; veremos el análisis químico y la concentración de alúmina y sílice para poder seleccionar el ladrillo refractario y aislante.

3.6.1.1 LADRILLO REFRACTARIO MAXIAL 310M (SP 1.01)

Ladrillo refractario de diferentes medidas usados en la el revestimiento del interior del horno de tostación de sulfuro de zinc. Tenemos el análisis químico en tabla 2.3

Tabla 2.3 Análisis químico

Componente Químico	AL ₂ O ₃	TiO ₂	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO
Concentración Química (%)	41.3	1.7	54	1.5	0.2	0.4

**3.6.1.2 LADRILLO AISLANTE REFRACTARIO LEGRAL 26/7
(SP2.02)**

Ladrillo aislante instalado en la nueva capa del revestimiento del aislante refractario es de color blanco, viene en formas rectángulas y cuadradas, se pega con el mortero DIDURIT, el análisis químico en la Tabla 2.4

Tabla 2.4 Análisis químico

Componente Químico	AL ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	CaO	MgO
Concentración Química (%)	35	60	1.5	0.3	0.6	0.5

Detalle de comparación de los compuestos químicos de los refractarios a usar según la tabla 3.5

TABLA 3.5 COMPOSICION DE ALCALIS DE LOS REFRACTARIOS								
TIPO DE REFRAC.	AL ₂ O ₃	TiO ₂	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	MgO
MAXIAL 310M	41.3	1.7	54	1.5	0	0	0.2	0.4
LEGRAL 26/7(M40)	35	0	60	1.5	0.3	0	0.6	0.5
DIDOTEC 168 0-5M	67	2.3	27	1	0	0	1.5	0

TIPO DE REFRAC.	AL ₂ O ₃	TiO ₂	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	MgO
VARNON	37.2	1.7	57.8	1.8	0	0	0.2	0.3
TJM23	45	0	48	0.8	0	0	0	0
HARWACO BOND	48.6	1.9	44.4	1.6	0	0	0.2	0.4

Como se puede apreciar el aislante refractario LEGRAL 26/7(M40) es más completo en composición química respecto al ladrillo aislante de TJM23.

La selección del material a usar para la instalación, detallamos se detallo en la tabla 3.3 y la tabla 3.4

TABLA 3.3 COMPARACION DE LADRILLOS REFRACTARIOS	
MAXIAL 310M	VARNON
-Tiene una temperatura de servicio de 1200-1300°C	-Tiene una temperatura de servicio de 1600°C.
-Mayor densidad 2330kg/m ³ .	-Tiene una densidad de 2195kg/m ³ .
-Mayor resistencia a la compresión 60N/mm ²	-Resistencia a la compresión de 12.1N/mm ²
-Porcentaje de porosidad 14%	-Porcentaje de porosidad 15.3%
-Precio en dólares \$2.99+importacion	-Precio en dólares \$ 3.77+importacion

TABLA 3.4 COMPARACION DE LOS LADRILLOS AISLANTES

LEGRAL 26/7(M40)	TJM23
-Tiene una temperatura de servicio de 1250-1320°C	-Tiene una temperatura de servicio de 1260-1538°C.
-Mayor densidad 700kg/m³.	-Tiene una densidad de 800kg/m³.
-Mayor resistencia a la compresión 1.5N/mm²	-Resistencia a la compresión de 1.2N/mm²
-Porcentaje de porosidad 48%	-Porcentaje de porosidad 30%
-Precio en dólares \$3.14+importacion	-Precio en dólares \$ 3.50+importacion

3.6.2 VOLUMEN REQUERIDO DE MATERIAL PARA LA INSTALACION.

Para poder calcular el peso del material tenemos que calcular los volúmenes y con la ecuación de la densidad obtendremos la masa.

Densidad $\delta = \frac{m}{v}$

Donde:

δ : es la densidad (kg/m³)

m : es la masa (kg)

v : es el volumen (m³)

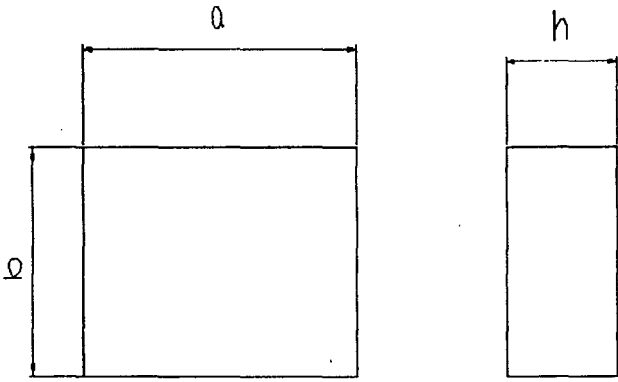
TABLA 3.6 VOLUMEN DEL LADRILLO REFRACTARIO Y AISLANTE TOTAL

LADRILLO REFRACTARIO				
Ítem	Material	Tipo	Volumen(m³)	Masa(kg)
1	MAXIAL 310M	NF1-76	1,463	3524
2	MAXIAL 310M	NF1-38	0,23	559
3	MAXIAL 310M	DW2	4,111	9957
4	MAXIAL 310M	DM 1	20,59	49421
5	MAXIAL 310M	DM 2	27,329	65644
6	MAXIAL 310M	DM 3	17,653	42417
7	MAXIAL 310M	DM 4	9,465	22782
8	MAXIAL 310M	DM 5	4,733	11428
9	MAXIAL 310M	DM 6	1,81	4397
10	MAXIAL 310M	DM 7	0,635	1545
11	MAXIAL 310M	DM 8	0,552	1402
12	MAXIAL 310M	DM 9	0,469	1158
13	MAXIAL 310M	DM 10	0,382	970
14	MAXIAL 310M	DM 11	0,299	756
15	MAXIAL 310M	DM 12	0,217	555
16	MAXIAL 310M	DM 13	0,134	325
17	MAXIAL 310M	WHB 1	0,252	643
18	MAXIAL 310M	WHB 2	2,432	5936
19	MAXIAL 310M	3B	1,404	3372
20	MAXIAL 310M	2D	57,24	137377
21	MAXIAL 310M	2GG4	88,28	211890
22	MAXIAL 310M	2GG10	1,76	4241
23	MAXIAL 310M	2GG16	0,14	373
24	MAXIAL 310M	NF3	11,187	26850
25	MAXIAL 310M	2H7	1,525	3668
26	MAXIAL 310M	CN2	3,171	7652
27	MAXIAL 310M	GB52	2,147	5160
28	MAXIAL 310M	2G5	0,545	1315
		TOTAL	260,155	625317
LADRILLO AISLANTE PRIMERA CAPA				
Ítem	Material	Tipo	Volumen(m³)	Masa(kg)
1	PYROSTOP ISOL 450	NF1-76	43,482	20567
2	PYROSTOP ISOL 450	NF3-76	67,613	31986
		TOTAL	111,095	52553
LADRILLO AISLANTE SEGUNDA CAPA				
Ítem	Material	Tipo	Volumen(m³)	Masa(kg)
1	LEGRAL 26/7	NF1-76	42,725	32304

3.6.3 DIMENSIONES DE LOS LADRILLOS A INSTALAR.

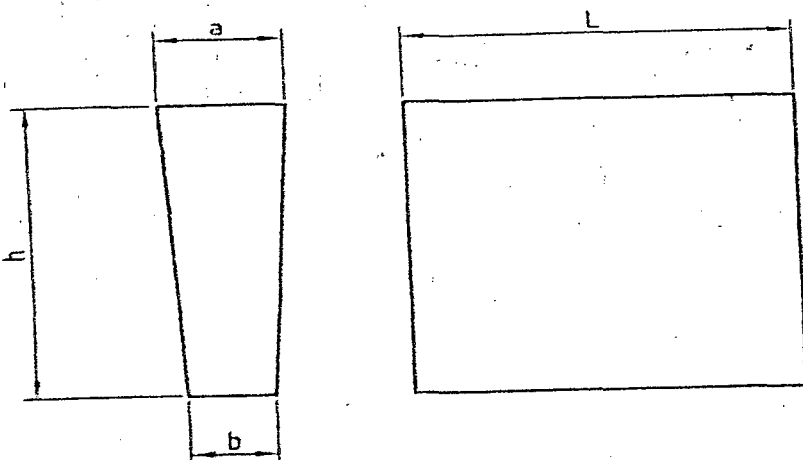
Dimensiones de los ladrillos refractarios, aislantes refractarios, ladrillos de la cúpula a instalar para los cálculos del flujo de calor a través de las paredes de la superficie del horno de tostación de concentrado.

TABLA 3.7 DIMENSIONES DE LOS LADRILLOS AISLANTES Y REFRACTARIOS



Ítem	DIMENSIONES: mm			Volumen:[dm ³]
	a	b	h	
1-76	230	114	76	1,99
3-76	300	150	76	3,42
2	250	124	64	1,98
2D	250	250	64	4
3B	300	225	64	4,32
Tolerancia	<200mm			
Tolerancia	≥200mm			

TABLA 3.8 DIMENSION DE LADRILLOS TIPO CUÑA



Ítem	DIMENSIONES: mm				Volumen:[dm ³]
	a	b	h	L	
2G4	66	62	250	124	1,98
2GG4	66	62	250	250	4
2GG10	69	59	250	250	4
2GG16	72	56	250	250	4
GB51	69	65	300	225	4,52
2H6	67	61	124	250	1,98
WHB 2	98	61	350	350	11,58
Tolerancia				<200	±1,5mm
Tolerancia				≥200	±0,75%
Tolerancia				≥201	±0,75%

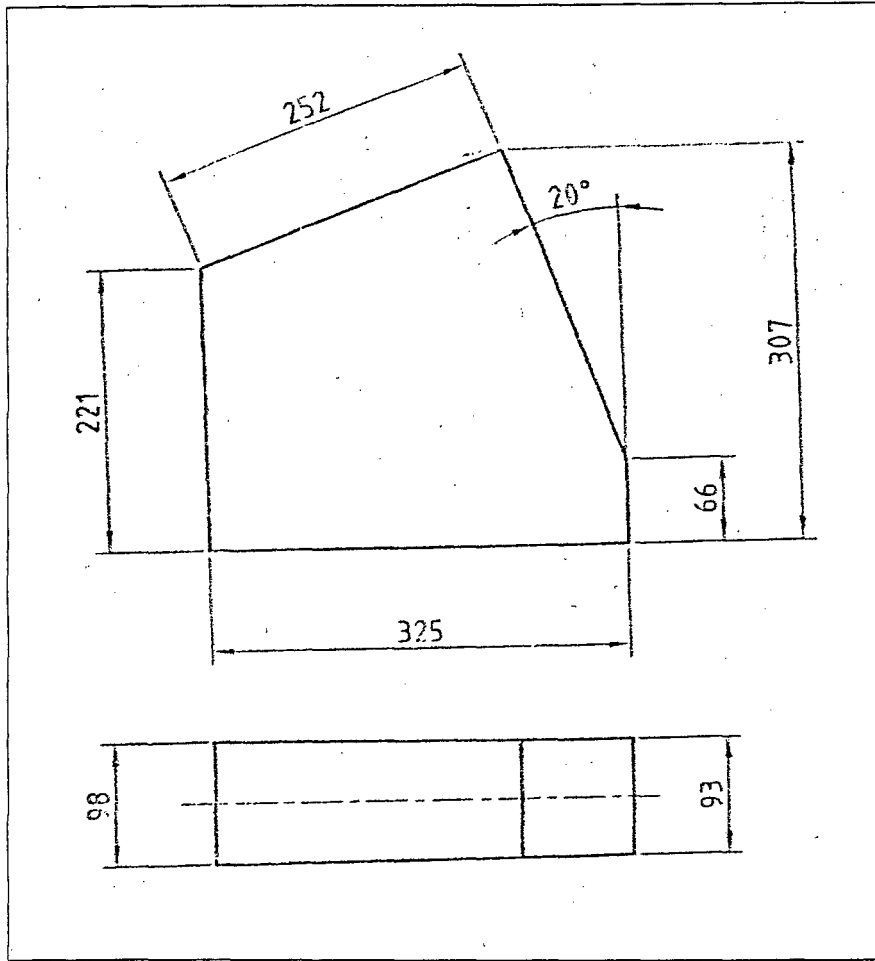


FIG. 3.9 DIMENSIONES DE LADRILLOS BASE TECHO

TABLA 3.9 DIMENSIONES DE LADRILLOS PARA EL TECHO

Ítem	DIMENSIONES: mm				Volumen:[dm ³]
	a	b	c	D	
DM1	98	99,7	94,8	96,4	6,67
DM2	98	100,5	94,7	97,2	6,7
DM3	98	101,7	94,6	98,2	6,73
DM4	98	103,6	94,4	99,9	6,79
DM5	98	106,1	94,1	102	6,86
DM6	98	110,2	93,8	105,5	6,99
DM7	97,1	110,9	92,8	106,1	6,98
DM8	97,5	113,6	92,9	108,6	7,08
DM9	96,6	115,6	91,7	110,2	7,1
DM10	65,3	81,4	61,7	77,3	4,9
DM11	64,4	85,5	60,4	80,7	4,99
DM12	64,4	95,2	59,4	89,3	5,29
DM13	58,8	111,5	51,9	102,9	5,58
Tolerancia				<201	±1,5mm
Tolerancia				≥200	±0,75%
Tolerancia				≥201	±0,75%

3.7 CALCULO DEL FLUJO DE CALOR POR LAS PAREDES DEL HORNO

De las tablas de los materiales usados usaremos los datos para poder calcular los flujos de calor.

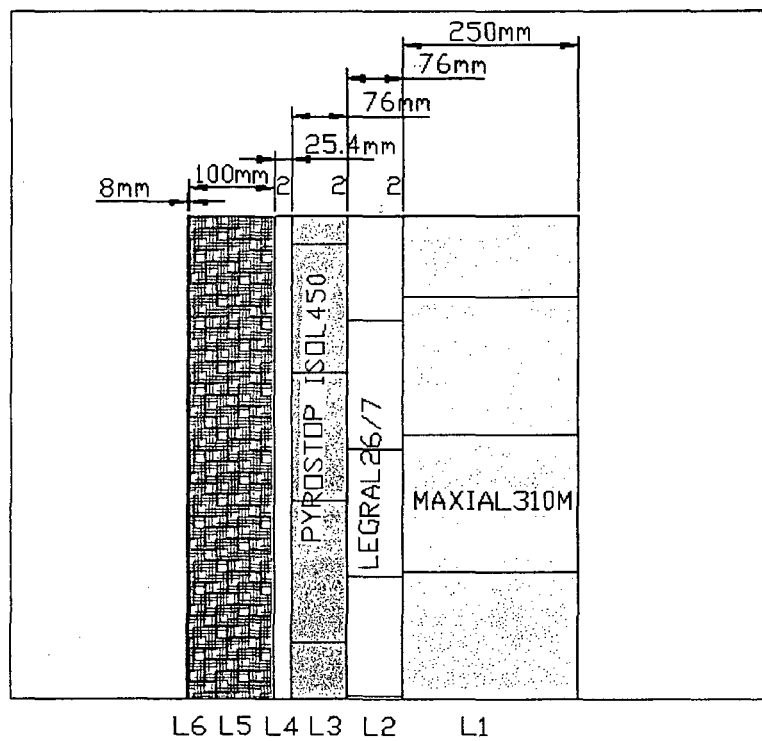
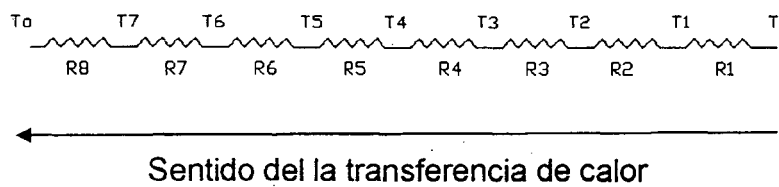


Fig. 3.14 Espesor de los materiales instalados.



Tenemos:

$T_i = 900^\circ\text{C}$, temperatura interior.

$T_o = 30^\circ\text{C}$, temperatura exterior.

Espesor del ladrillo refractario:

$$L_1 = 0.25\text{m}$$

Espesor del ladrillo aislante refractario de la nueva capa:

$$L_2 = 0.076\text{m}$$

Espesor del ladrillo aislante refractario:

$$L_3 = 0.076\text{m}$$

Espesor de la plancha de acero:

$$L_4 = 0.025\text{m}$$

Espesor de lana mineral:

$$L_5 = 0.1\text{m}$$

Espesor de la plancha de aluminio:

$$L_6 = 0.008\text{m}$$

El coeficiente de película en el interior del horno es:

$$h_i = 100 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

De la hoja de datos técnicos:

$$k_1 = 1.6 \frac{\text{W}}{\text{m } ^\circ\text{C}}$$

De la hoja de datos técnicos:

$$k_2 = 0.27 \frac{\text{W}}{\text{m } ^\circ\text{C}}$$

De la hoja de datos técnicos:

$$k_3 = 0,14 \frac{w}{m^{\circ}C}$$

De la hoja de datos técnicos:

$$k_4 = 41.161 \frac{w}{m^{\circ}C}$$

De la hoja de datos técnicos:

$$k_5 = 0,09 \frac{w}{m^{\circ}C}$$

De la hoja de datos técnicos:

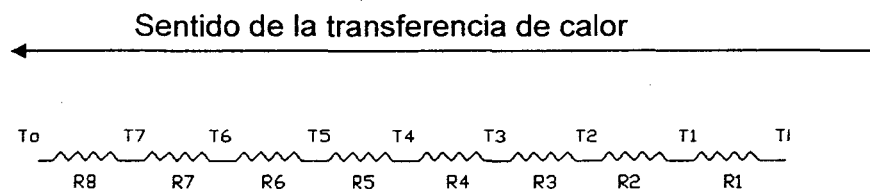
$$k_6 = 15 \frac{w}{m^{\circ}C}$$

Para los coeficientes de película del aluminio

$$k_{\infty} = 8.8 \frac{w}{m^2C}$$

3.7.1 CALCULO DE FLUJO DE CALOR

Trazando el circuito térmico:



Cálculo del calor transferido a los ladrillos:

$$\text{En el interior: } q = h_i(T_i - T_1) K_c = 100, R_c = 0.01$$

$$\text{En el ladrillo: } q = \frac{k_{\text{ladrillo}}}{L_{\text{ladrillo}}}(T_1 - T_2) K_k = 6.4, R_k = 0.156$$

$$\text{En el aislante N°2: } q = \frac{k_{\text{aislante}}}{L_{\text{aislante}}}(T_2 - T_3) K_k = 3.552, R_k = 0.281$$

$$\text{En el aislante N°1: } q = \frac{k_{\text{aislante}}}{L_{\text{ladrillo}}}(T_3 - T_4) K_k = 1.842, R_k = 0.543$$

$$\text{En la placa de acero: } q = \frac{k_{\text{acero}}}{L_{\text{acero}}}(T_4 - T_5) K_k = 1646.44, R_k = 0.0006$$

$$\text{En la fibra cerámica: } q = \frac{k_{\text{fibra ceramica}}}{L_{\text{fibra ceramica}}}(T_5 - T_6) K_k = 0.9, R_k = 1.111$$

$$\text{En la placa de Aluminio: } q = \frac{k_{\text{Al}}}{L_{\text{Al}}}(T_6 - T_7) K_k = 1875, R_k = 0.0005$$

$$\text{En el exterior: } q = h_o(T_7 - T_o) K_c = 8.8, R_c = 0.114$$

3.7.2 CALCULO DE LA CONDUCTANCIA TOTAL (R_{total})

$$R_{total} = \Sigma R_{k,c} = 2.216 \frac{m^2 \cdot ^\circ C}{w}$$

$$R_{TOTAL} = R_{total}^{-1} = 0.451 \frac{w}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

El flujo de calor:

$$q = R_{TOTAL} \times \Delta T = 414.92 \frac{w}{m^2}$$

$$Q_{perdio. pared plana} = 301.432 kw$$

3.7.3 GRADIENTE DE TEMPERATURAS

De los datos obtenidos calculamos las temperaturas entre los ladrillos, planchas y lana mineral:

$$T_i = 950^\circ C$$

$$T_1 = T_i - q \times \frac{1}{h_o} = 945.849^\circ C$$

$$T_2 = T_1 - q \times \frac{1}{K_K} = 880,994^\circ C$$

$$T_3 = T_2 - q \times \frac{1}{K_K} = 764,138^\circ C$$

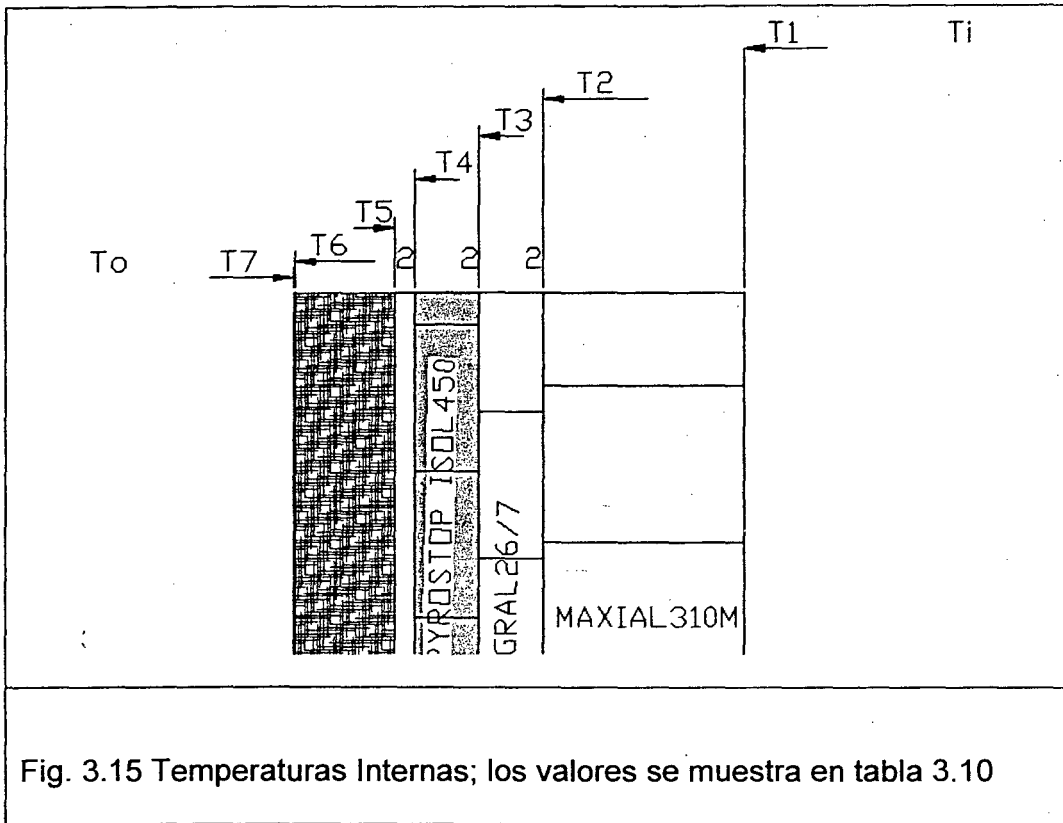
$$T_4 = T_3 - q \times \frac{1}{K_K} = 538,800^\circ C$$

$$T_5 = T_4 - q \times \frac{1}{K_K} = 538,548^\circ C$$

$$T_6 = T_5 - q \times \frac{1}{K_K} = 77,355^\circ C$$

$$T_7 = T_6 - q \times \frac{1}{K_K} = 77,134^\circ C$$

$$T_0 = T_7 - q \times \frac{1}{K_k} = 29,967^\circ\text{C}$$



3.7.4 DIAGRAMA DE TEMPERATURAS DEL HORNO

Comportamiento de la temperatura a través de los refractarios y materiales instalados

TABLA 3.10 TEMPERATURA ENTRE LOS REFRACTARIOS

Ti	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	To
950°C	945.8°C	880.9°C	764.1°C	538.8°C	538.5°C	77.3°C	77.1°C	29.9°C

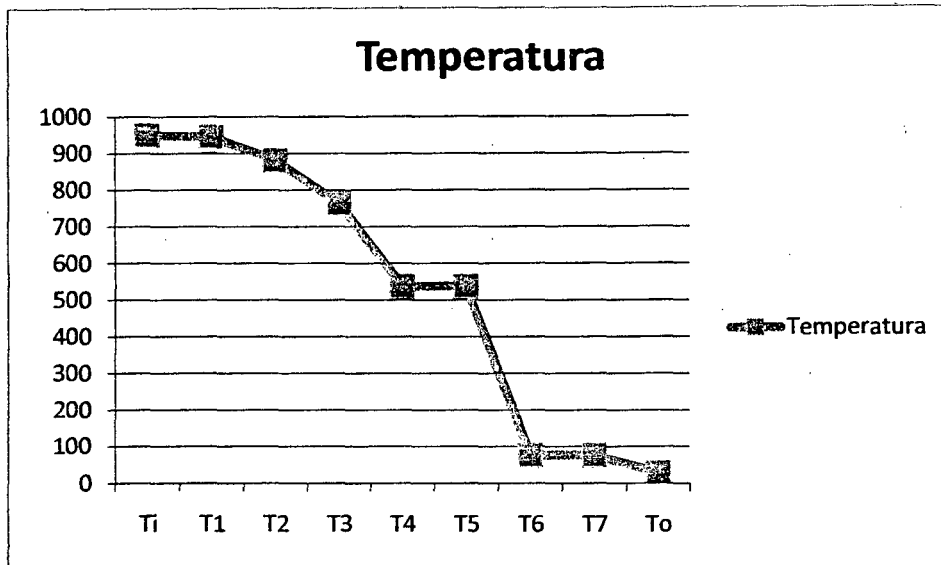


Gráfico 3.1 DIAGRAMA DE TEMPERATURA

3.8 CONSUMO DE COMBUSTIBLE

El consumo de combustible (petróleo diesel 2) del horno anterior es de 220 GPH y ahora el consumo del modelo con dos capas de aislante es de 180 GPH esto quiere decir que el consumo de combustible ha disminuido para el caso de nuestro horno en 40 GPH.

Para más detalle la tabla 3.11; muestra el calor producido por espesor cada aislante según la Formula de paredes planas del libro de Pablo Dias Bravo pag. 69.

Datos técnicos del petróleo diesel 2:

$$\rho = 0.8498 \frac{kg}{l}$$

PC=10000Kcal/kg

Volumen de combustible:

$$mc = \frac{QP.plana}{PC\ combustible} = \frac{7175.195KW}{10000Kcal/kg} * 859.824 * 1.1135857 * 0.2648$$

$$Vcombustible = 181.922GPH$$

TABLA 3.11 SELECCIÓN DEL ESPESOR DEL AISLANTE

Espesor Al(m)	Espesor Al(m)	Q(kw)	GPH QP.PLANA	GPHTOTAL
0	0,154	268,090	6,797	181,077
0,056	0,096	292,359	7,413	181,692
0,06	0,092	294,130	7,457	181,737
0,066	0,086	296,826	7,526	181,805
0,07	0,082	298,652	7,572	181,851
0,076	0,076	301,432	7,643	181,922
0,08	0,072	303,314	7,690	181,970
0,086	0,066	306,183	7,763	182,042
0,09	0,062	308,125	7,812	182,092
0,096	0,056	311,086	7,887	182,167
0,1	0,052	313,091	7,938	182,218
0,154	0	340,440	8,632	182,911

3.8.1 COSTO DE TONELADA DE CONCENTRADO DE ZINC POR HORA

La producción del horno es de 45Ton/h, para calentar hasta 950°C se tiene que calentar por un periodo de tres días, a razón de 180 GPH se ahorro 40 GPH: (Costo del galón de petróleo = \$3.178) costo promedio a febrero del 2010

$$40GPH = 127.147\$/hr$$

$$45Ton/hr = 180GPH = 572.04\$/hr$$

Por lo que el costo de concentrado de zinc es 12.712 \$/h

Los países anglosajones valúan el volumen extraído en una unidad convencional: el barril. Un barril equivale a 36 galones, cada uno de ellos de 4,5 litros, de donde:

$$1 \text{ barril} = 36 \times 4,5 \text{ litros} = 162 \text{ litros} = 0,162 \text{ m}^3$$

$$\text{costo de barril por hora} = 5.00 \frac{\$}{h}$$

El costo de combustible es de \$ 572.04 para una producción de 45ton/h de tostado de zinc.

3.8.2 CARGA DISTRIBUIDA EN LA SUPERFICIE DEL HORNO

Considerando una presión en el interior del horno de 0.1atm (10132.5Pa), la carga distribuida se determina por:

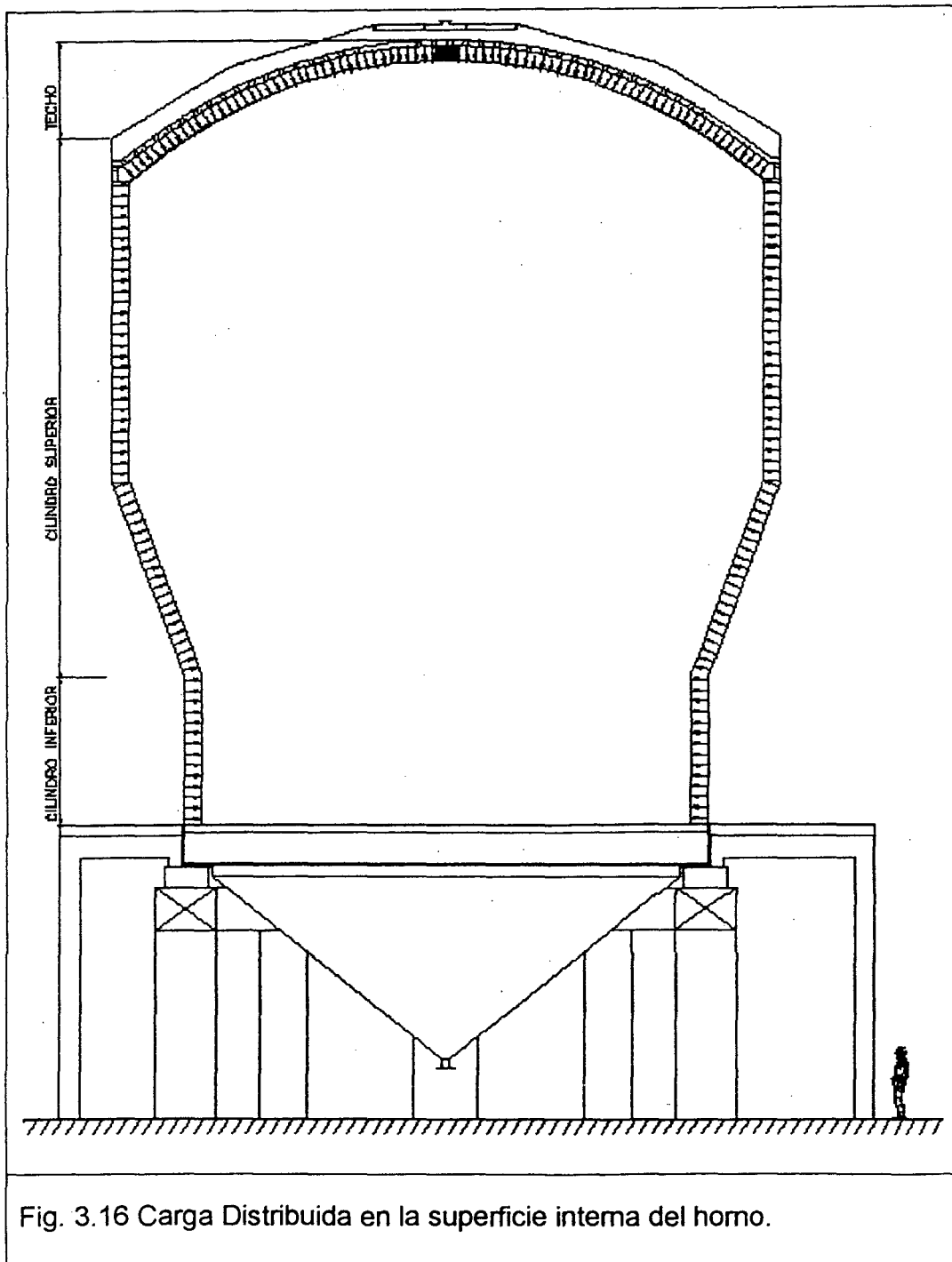
$$F = PA \dots\dots\dots(3.4)$$

Donde:

A: Área total de transferencia de calor (Suma de áreas del cilindro superior, inferior, techo y cono)

$$F = 10132.5\text{Pa} \times 978.242\text{m}^2 = 9912.037\text{kN}$$

En la Fig. 3.16 se muestra la carga distribuida.



3.9 HERRAMIENTAS PARA EL ASENTAMIENTO DE LADRILLOS REFRACTARIOS.

Detallamos la lista de herramientas a usar la instalación los ladrillos y preparación de los Castables en la Tabla. 3.12

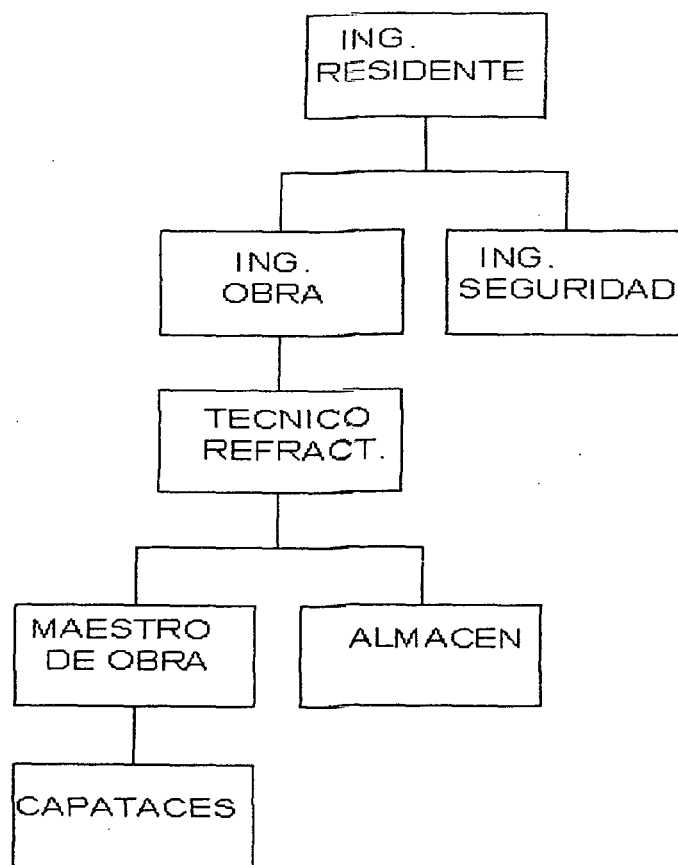
TABLA 3.12 RELACION DE HERRAMIENTAS		
ITEM	CANT.	DETALLE
1	1	Batidor manual eléctrico
2	4	Brocas espirales para el batidor eléctrico
3	2	Batidores de cemento refractario
4	315	Planchas albañil
5	1	Compresor Neumático
6	2	Apisonadores Neumáticos
7	2	Vibrador Eléctrico de 1.5 Hp
8	140	Serruchos
9	2	Winche p/izaje
10	140	Winchas

3.11 ORGANIGRAMA DEL PROYECTO

El Ing. De Obra es responsable de todas las actividades y cumplir el tiempo de ejecución de la obra en el Área 20 sector donde está ubicado el horno.

El Ing. Seguridad es responsable que los trabajadores laboren en las condiciones mínimas de seguridad y el correcto desecho de residuos y proteger el medio ambiente.

El Ing. Obra tiene la responsabilidad de ejecutar el trabajo de acuerdo a las dimensiones y requerimientos técnicos, así como los protocolos de prueba, informe de avance, y las valorizaciones quincenales.



3. 11.1 RECOMENDACIONES PARA EL CONTROL DE CALIDAD

El control de calidad se da por el personal calificado y siguiendo las normas de calidad y medioambiente ISO 9001 Y ISO 2000.

Para gestión y desarrollo de los trabajos se dispondrá de una organización precisa y definida, la cual es la constante mente supervisada por el cliente que es en nuestro caso la Empresa Votorantim Metais.

3.11.2 DOCUMENTOS DEL PLAN DE SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE

Para la inicialización de los trabajos el Ingeniero de Seguridad dictara una charla de 10 minutos sobre los riesgos de las sustancias que se estarán manipulando y el uso correcto de los EPP para poder trabajar sin poner en riesgo la salud de los trabajadores.

El documento para inicializar los trabajos es llamado el PPT que será llenado por el Ing. De Obra y el Ing. Residente, este documento se realizara semanalmente

El documento para el ingreso al homo y poder comenzar con los trabajos es el permiso a espacio confinado, en este documento se registra el porcentaje de gases tóxicos para la salud, y lo autoriza el Ing. de Seguridad, este documento se llenara diariamente.

El APR Este documento lo realizara cada trabajador en forma diaria y es personal el llenado ya que indicara el lugar de trabajo, el uso de las herramientas y también será firmado por Ing. de seguridad.

Todos estos documentos evitaran que los riegos disminuyan y se logre un trabajo de calidad tanto para el personal como para nuestro ambiente.

3.11.3 HOMOLOGACION DE PROCEDIMIENTOS

Los documentos para el asentamiento de los aislantes son. Los protocolos de calidad, indican el avance realizado en la semana, detallando la cantidad de material usado, y las probetas correspondientes por cada vaciado de cemento refractario, indicando las temperaturas del medio ambiente.

CAPITULO IV
ANALISIS ECONÓMICO

4.1 COSTOS Y PRESUPUESTOS

El costo del revestimiento del horno es el conjunto de gastos efectuados, tienen distinta naturaleza.

4.1.1 DETALLE DEL COSTO DE LOS MATERIALES

Tabla 4.1 COSTO DEL LADRILLO REFRACTARIO

m	Material	Tipo	Cantidad(pc)	Costo unitario	Costo total
1	MAXIAL 310M	NF1-76	760	\$3,00	\$2.280,00
2	MAXIAL 310M	NF1-38	240	\$3,00	\$720,00
3	MAXIAL 310M	DW1	525	\$5,00	\$2.625,00
4	MAXIAL 310M	DM 1	3180	\$5,00	\$15.900,00
5	MAXIAL 310M	DM 2	4205	\$5,00	\$21.025,00
6	MAXIAL 310M	DM 3	2705	\$5,00	\$13.525,00
7	MAXIAL 310M	DM 4	1440	\$5,00	\$7.200,00
8	MAXIAL 310M	DM 5	715	\$5,00	\$3.575,00
9	MAXIAL 310M	DM 6	270	\$5,00	\$1.350,00
10	MAXIAL 310M	DM 7	95	\$5,00	\$475,00
11	MAXIAL 310M	DM 8	85	\$5,00	\$425,00
12	MAXIAL 310M	DM 9	70	\$5,00	\$350,00
13	MAXIAL 310M	DM 10	85	\$5,00	\$425,00
14	MAXIAL 310M	DM 11	65	\$5,00	\$325,00
15	MAXIAL 310M	DM 12	45	\$5,00	\$225,00
16	MAXIAL 310M	DM 13	25	\$5,00	\$125,00
17	MAXIAL 310M	WHB 1	35	\$2,80	\$98,00
18	MAXIAL 310M	WHB 2	220	\$2,80	\$616,00
19	MAXIAL 310M	3B	335	\$2,00	\$670,00
20	MAXIAL 310M	2D	14740	\$3,00	\$44.220,00
21	MAXIAL 310M	2GG4	22735	\$3,00	\$68.205,00
22	MAXIAL 310M	2GG10	455	\$3,00	\$1.365,00
23	MAXIAL 310M	2GG16	40	\$3,00	\$120,00
24	MAXIAL 310M	NF2	5820	\$3,00	\$17.460,00
25	MAXIAL 310M	2H6	795	\$3,00	\$2.385,00
26	MAXIAL 310M	CN1	435	\$3,00	\$1.305,00
27	MAXIAL 310M	GB51	490	\$3,00	\$1.470,00
28	MAXIAL 310M	2G4	285	\$3,00	\$855,00
		TOTAL	60895	110,6	\$209.319,00

Ítem	Material	Tipo	Cantidad(pc)	P. Unita	P.Total
1	PYROSTOP ISOL 450	NF1-76	24035	\$3,00	\$72.105,00
2	PYROSTOP ISOL 450	NF3-76	21750	\$3,00	\$65.250,00
		TOTAL	45785		\$137.355,00

Ítem	Material	Tipo	Cantidad(pc)	P. Unita	P.Total
1	LEGRAL 26/7	NF1-76	23190	\$2,00	\$46.380,00

Ítem	Material	Tipo	Cantidad(kg)	P. Balde de 25kg	P.Total
	DIDOTEC 145 V 0-0.5M		33200	\$30,00	\$996.000,00
	RESITECT 180KV M 0-0.5		15400	\$30,00	\$462.000,00
	RESITECT HARTEK			TOTAL	\$1.458.000,00

Ítem	Material	Espesor	Cantidad(m²)	Precio total
1	PYROSTOP BLANKET 128/126	25mm	157	\$235,50
2	PYROSTOP BLANKET 128/126	13mm	116	\$127,60
3	PYROSTOP BLANKET 128/126	6mm	47	\$39,95
4	SUPERWOOL 607 BLANKET	50mm	640	\$960,00
		TOTAL	960	\$1.363,05

Ítem	Material	Tipo	Cantidad(m³)	Bolsas	P.Total
1	DIDURIT 168 0-5M	CASTABLE	63,8	5742	\$229.680,00
2	DIPLAST 170 0-5M	PLASTICO	8,8	845	\$38.016,00
3	PYROSET 23 VLI	CONCRETO LIGERO	6,1	200	\$5.002,00
					\$272.698,00

4.1.2 COTIZACION GLOBAL

TABLA 4.7 COTIZACION DE MANO DE OBRA Y MATERIALES

Item	Descripción	Unid.	Cant.	P.Unit	P.Parcial	Total
0	TRABAJOS PRELIMINARES					
0,1	Trazos en plancha	GLB	1,0	\$ 1.000,00	\$ 1.000,00	\$ 1.000,00
0,2	Nivelación de platinas	GLB	1,0	\$ 1.000,00	\$ 1.000,00	\$ 1.000,00
1,0	REVESTIMIENTO					
1,1	Asentamiento de Tabiques aislantes	GLB	1,0	\$ 103.463,50	\$ 103.463,50	\$ 103.463,50
1,2	Asentamiento de Ladrillos refractarios	GLB	1,0	\$ 121.790,00	\$ 121.790,00	\$ 121.790,00
1,3	Encofrado, Preparación, vaciado y vibrado	GLB	1,0	\$ 150.000,00	\$ 150.000,00	\$ 150.000,00
1,0	RRHH					
1,1	Supervisión	GLB	1,0	\$ 40.395,19	\$ 40.395,19	\$ 40.395,19
1,2	Mano de obra	GLB	1,0	\$ 116.958,75	\$ 116.958,75	\$ 116.958,75
1,0	OTROS					
1,1	Trasporte personal	GLB	1,0	\$ 10.350,00	\$ 10.350,00	\$ 10.350,00
1,2	Viáticos	GLB	1,0	\$ 37.044,67	\$ 37.044,67	\$ 37.044,67
1,3	Material castable	GLB	1,0	\$ 2.125.115,05	\$ 2.125.115,05	\$ 2.125.115,05
1,4	Flete de transporte de maquinaria y herramientas	GLB	1,0	\$ 5.000,00	\$ 5.000,00	\$ 5.000,00
1,5	Alquiler baños	GLB	1,0	\$ 500,00	\$ 500,00	\$ 500,00

SUB TOTAL

\$ 2.712.617,17

GASTOS GENERALES Y UTILIDAD 15%

\$ 3.119.509,74

I.G.V 19%

\$ 592.706,85

TOTAL GENERAL

\$ 3.712.216,59

- TIEMPO DE VIDA UTIL DE LA OBRA 20 AÑOS
- TIEMPO DE EJECUCION 127 DIAS

TABLA 4.8 AHORRO ANUAL DE COMBUSTIBLE

AHORRO DE COMBUSTIBLE POR AÑO				
	GPH	\$/h	\$/DIA	\$/AÑO
CONSUMO ANTERIOR	220	699,16	16779,84	5621246,4
CONSUMO ACTUAL	180	572,04	13728,96	4599201,6
AHORRO	40	127,12	3050,88	1022044,8

4.1.3 TIEMPO DE RECUPERACION DE LA INVERSION

$$T_{recuperacion\ inversion} = \frac{\text{Costo del proyecto}_{total}}{\text{Ahorro}_{anual}}$$

$$T_{recuperacion\ inversion} = \frac{3712216.59 \$}{1022044.8 \$/año}$$

$$T_{recuperacion\ inversion} = 3.6 \text{ años}$$

CAPITULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES.

- A. Para un adecuado análisis de transferencia de calor en el horno se selecciono el método de paredes compuestas.

- B. Con la adición de una capa de ladrillo aislante refractario se logró disminuir la transferencia de calor a través de las paredes del horno en 17.3%.

- C. El consumo de combustible disminuyo a 180GPH, generando un ahorro del \$ 1022044.8 por año y alargando la vida útil del horno.

5.2 RECOMENDACIONES

- A. En el asentamiento de los ladrillos refractarios y aislantes tener mucho cuidado con el mortero; al pegar los ladrillos no debe quedar espacios vacíos ya que el aire caliente ingresará por esos agujeros produciendo un desgaste acelerado de los ladrillos.

- B. Al momento de vaciar el concreto refractario al encofrado vibrar de 5 a 10 minutos hasta que salga todas las burbujas de aire, de igual forma para evitar desgaste acelerado del castable, es necesario una buena supervisión.

- C. Para realizar la preparación del concreto refractario es necesario realizar el análisis del PH del agua, se recomienda que sea neutro (PH=7).

- D. Para el asentamiento darle charlas de capacitación para el ahorro de material ya que no se miden la cantidad de mortero a usar.

BIBLIOGRAFIA

📖 **FRANK KREITH. Principios de la Transferencia de Calor.**

Editorial "HERRERO HERMANOS, SUCESTORES", México 1966.

📖 **YUNUS A. CENGEL. Transferencia de Calor Segunda edición.**

Editorial "McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES S.A DE C.V. México 2003

📖 **B.V. KARLEKAR-R.M. DESMOND. Transferencia de Calor, Segunda edición.**

Editorial "CANDIANI S.A." México 1994.

📖 **DONALD Q. KERN. Procesos de Transferencia de Calor, Sexta edición**

Editora "COMPAÑÍA EDITORIAL S.A", México 1966.

📖 **JULIO ASTIGARRAGA URQUIZA. Hornos Industriales de Resistencias Teoría, cálculos y aplicaciones.**

Editora "McGRAW-HILL/INTERAMERICANA DE ESPAÑA S.A",
España 1994.

 **ARTURO LOBATO FLORES-ALBERTO LANDAURO A.**
Hornos Industriales

Editora "COMERCIAL LIBRERA SAN MARCOS L.P.C." Lima-Perú
1966.

 **J.P. HOLMAN. Transferencia de Calor, Octava edición.**

Editora: Concepción Fernández Madrid

Compuesto e impreso en Fernández Ciudad, S.L, España 1998.

 **PABLO DÍAZ BRAVO. Transferencia de Calor.**

Editorial "ARCANGEL" Distrito San Martín de Porres, Perú-2007.

A. APENDICE

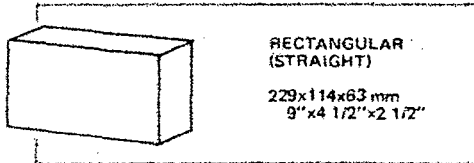
A.1 LADRILLOS REFRACTARIOS CON ALTO CONTENIDO DE ALUMINA

Los ladrillos refractarios de alta alúmina que fabrica REPSA comprende las clases de 50, 60,70,80,85,90% de alúmina(AL_2O_3). Son más refractarios y más resistentes a la acción de fundentes que los ladrillos de arcilla y sus propiedades varían en proporción directa aproximada con el contenido de alúmina. Todos tienen una resistencia excepcional a la desintegración, principalmente la ocasionada por cambio brusco de temperatura, y poseen una gran resistencia mecánica y constancia de volumen a temperatura de trabajo. Los ladrillos con 60% o más de AL_2O_3 son muy resistentes a determinadas acciones corrosivas, inclusive la causada por cenizas de carbón, petróleo, madera, bagazo y aún escorias básicas. Son materiales muy confiables en procesos exclusivamente térmicos, pero se requiere de un conocimiento específico para ser empleados en aplicaciones en las que, además se presentan agresiones químicas o mecánicas en la operación Tabla A.1

TABLA A.1 LADRILLOS REFRACTARIOS REPSA DE ALTA ALUMINA

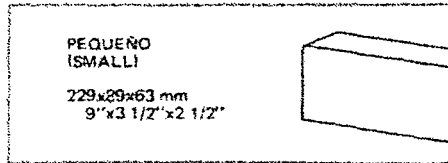
CLASE	MARCA	CPE	TEMP TIPICA TRABAJO	USOS Y APLICACIONES
50% Al ₂ O ₃	REPSA DIALITE	34	1600	Paredes de calderos, regeneradoras y recuperadores de calor, horno de cal y cemento y vidrio.
	REPSA 61-65	34	1600	Cucharas para trasvase de acero, carros torpedos, artesas de colada continua.
60% Al ₂ O ₃	REPSA ANCHOR	35	1700	Hornos rotatorios de cal y cemento, calderos bagaceros, hornos metalúrgicos de recalentamiento.
	REPSA UFALA	35	1700	Altos hornos y estufas de altos hornos, carros torpedos, tanques de vidrio, hornos de inducción.
	REPSA ALADIN 60	35	1700	Cucharas de trasvase de acero líquido.
70% Al ₂ O ₃	REPSA ALUSITE	36	1750	Zonas de sinterización de homos de cemento y de calcinación de homos de cal, bóvedas de hornos eléctricos, hornos de recalentamiento.
	REPSA ALUSA	36	1750	Bóvedas de hornos eléctricos de arco, cucharas metalúrgicas de trasvase, hornos rotatorios.
	REPSA ALADIN 70	36	1750	Cucharas de trasvase de acero líquido.
80% Al ₂ O ₃	REPSA CORALITE	37	1770	Hornos rotatorios de cemento, metalúrgicos, bóvedas de homo eléctricos de arco.
	REPSA ALADIN 80	37	1770	Cucharas de trasvase de acero líquido.
85% Al ₂ O ₃	REPSA 9 - 61		1800	Hornos de fundición de aluminio, reactores para negro e humo y reactores para fertilizantes sintéticos.
	REPSA CORAL BP		1800	Hornos de fundición y refinación de aluminio, hornos eléctricos de inducción con y sin núcleo.
90% Al ₂ O ₃	REPSA KORUNDAL XD		1850	Altos hornos, artesas de colada continua, hornos de inducción sin núcleo, regeneradores de hornos de vidrio y hornos de negro de humo.

LADRILLOS REFRACTARIOS : FORMAS Y DIMENSIONES NORMALES



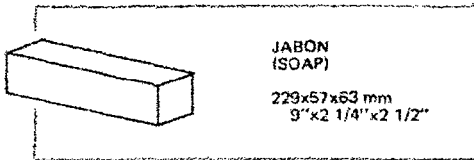
RECTANGULAR (STRAIGHT)

229x114x63 mm
9"x4 1/2"x2 1/2"



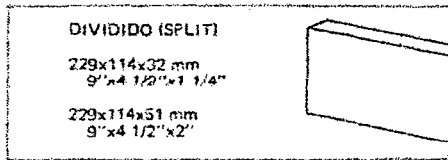
PEQUEÑO (SMALL)

229x29x63 mm
9"x3 1/2"x2 1/2"



JABON (SOAP)

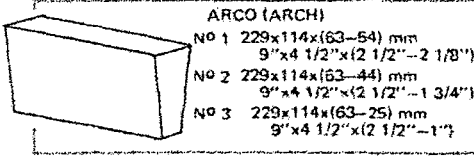
229x57x63 mm
9"x2 1/4"x2 1/2"



DIVIDIDO (SPLIT)

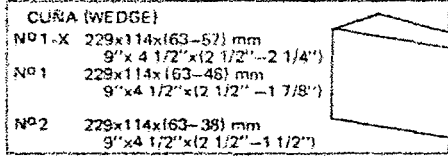
229x114x32 mm
9"x4 1/2"x1 1/4"

229x114x51 mm
9"x4 1/2"x2"



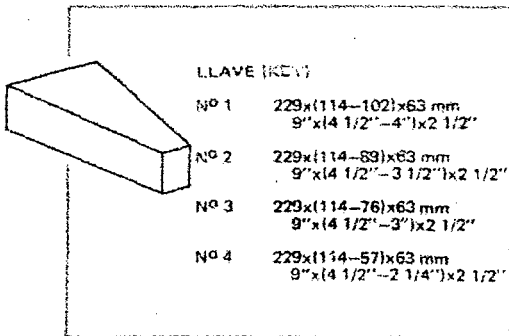
ARCO (ARCH)

Nº 1 229x114x(63-54) mm
9"x4 1/2"x(2 1/2"-2 1/8")
Nº 2 229x114x(63-44) mm
9"x4 1/2"x(2 1/2"-1 3/4")
Nº 3 229x114x(63-25) mm
9"x4 1/2"x(2 1/2"-1")



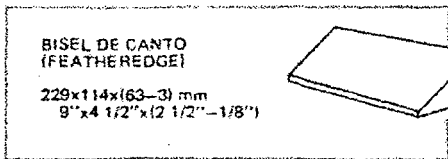
CUÑA (WEDGE)

Nº 1-X 229x114x(63-57) mm
9"x 4 1/2"x(2 1/2"-2 1/4")
Nº 1 229x114x(63-46) mm
9"x4 1/2"x(2 1/2"-1 7/8")
Nº 2 229x114x(63-38) mm
9"x4 1/2"x(2 1/2"-1 1/2")



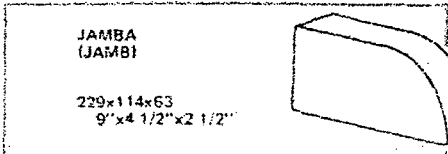
LLAVE (KEY)

Nº 1 229x(114-102)x63 mm
9"x(4 1/2"-4")x2 1/2"
Nº 2 229x(114-89)x63 mm
9"x(4 1/2"-3 1/2")x2 1/2"
Nº 3 229x(114-76)x63 mm
9"x(4 1/2"-3")x2 1/2"
Nº 4 229x(114-57)x63 mm
9"x(4 1/2"-2 1/4")x2 1/2"



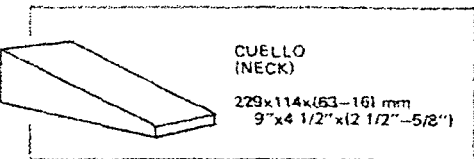
BISEL DE CANTO (FEATHER EDGE)

229x114x(63-3) mm
9"x4 1/2"x(2 1/2"-1/8")



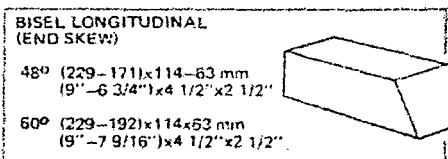
JAMBA (JAMB)

229x114x63
9"x4 1/2"x2 1/2"



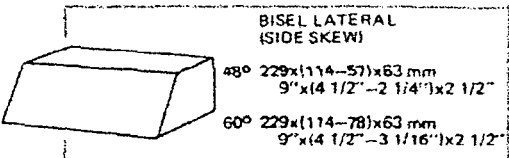
CUELLO (NECK)

229x114x(63-161) mm
9"x4 1/2"x(2 1/2"-5/8")



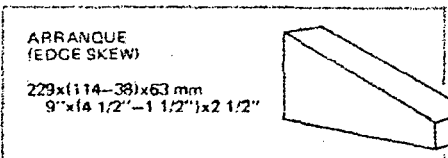
BISEL LONGITUDINAL (END SKEW)

48º (229-171)x114-63 mm
(9"-6 3/4")x4 1/2"x2 1/2"
60º (229-192)x114x63 mm
(9"-7 9/16")x4 1/2"x2 1/2"



BISEL LATERAL (SIDE SKEW)

48º 229x(114-57)x63 mm
9"x(4 1/2"-2 1/4")x2 1/2"
60º 229x(114-78)x63 mm
9"x(4 1/2"-3 1/16")x2 1/2"



ARRANQUE (EDGE SKEW)

229x(114-38)x63 mm
9"x(4 1/2"-1 1/2")x2 1/2"

**TABLA A.2 VARIEDADES DE LADRILLOS REFRACTARIOS RHI
SEGÚN COMPOSICION QUIMICA**

CONCEPTO	TEMP. °C MAXIMA DE SERVICIO	COMPRESION EN PLANO SECO A 105°C kg/cm ²	MODULO DE RUPTURA SECO A 105°C kg/cm ²	CANTIDAD NECESARIA kg/m ³ COLADO	ALUMINA PROMEDIO %	SILICE PROMEDIO %	USARSE ANTES DE (MESES)**
CONCRETOS DENSOS CONVENCIONALES							
COMPRIT 140HR M	1400	351	70	2040	47.9	42.3	12
COMPRIT 137 M	1425	316	70	1980	48.9	40.5	12
COMPRIT 135 M	1510	140	63	2080	52.9	39.0	12
COMPRIT 160H M	1650	316	71	2220	61.3	32.5	12
COMPRIT 151 M	1512	211	63	2215	63.0	29.7	12
COMPRIT 165H M	1680	352	77	2570	82.1	12.5	12
COMPRIT 180F M	1800	428	109	2920	92.6	1.3	12
COMPRIT 180H M	1870	527	127	2670	93.5	0.4	12
COMPRIT 178H M	1870	344	98	2885	93.7	0.4	12
COMPRIT 185F M	1870	140	42	2630	94.6	0.4	12
COMPRIT 185H M	1870	155	56	2630	96.3	0.3	12
CONCRETOS DE BAJO CEMENTO							
DIDURIT 123SIC M	1538	738	106	2307	34.1	31.9	6
DIDURIT 137AL M	1370	692	107	2227	42.4	49.8	6
DIDURIT 158 M	1482	633	112	2162	45.9	49.9	6
DIDURIT 166 M	1705	867	124	2371	59.5	35	6
DIDURIT 165 M	1650	664	135	2550	60.1	36.6	6
CARSIT TRC-SR M	1500	461	91	3050	63.0	4.0	6
DIDURIT 115AL M	1427	949	141	2483	65.7	28.1	6
DIDURIT 157SIC M	1566	844	112	2675	71.5	8.9	6
DIDURIT 170 M	1705	598	106	2645	71.6	23.2	6
DIDURIT 168 M	1705	913	179	2483	72.0	22.3	6
DIDURIT 125AL M	1370	859	135	2675	81.85	12.58	6
DIDURIT 180 M	1870	394	148	3050	90.7	6.9	6
PROYECTABLES DENSOS							
COMPRIT 150S M	1425	246	67	1980	47.8	41.5	12
DIDURIT 164S M	1650	688	143	2190	48.1	44.4	6
DIDURIT 154S M	1538	662	136	2210	53.2	40.9	6
CARSIT BSC-S M	1650	310	80	2290	66.0	11.0	6
DIDURIT 160S M	1705	562	141	2350	71.5	23.3	6
CONCRETOS LIGEROS							
LEGRIT 100-0.5 M	870	6	3	400	13.6	43.5	12
LEGRIT 100-0.8 M	980	25	14	720	18.3	46.1	12
LEGRIT 104-0.5 M	1040	2.46	1.41	320	31.5	26.3	12
LEGRIT 120-0.9 M	1260	21	7	835	38.5	48.2	12
LEGRIT 120-1.0 M	1205	28	11	800	41.0	40.0	12
LEGRIT 135-1.3 M	1370	56	20	1300	41.3	44.6	12
LEGRIT 135-1.3G M	1370	56	20	1495	42.8	43.2	12
LEGRIT 125-0.9 M	1260	35	10.5	888	43.5	37.9	12
LEGRIT 142-1.3G M	1427	169	50	1682	44.5	44.8	12
LEGRIT 142-1.3 M	1427	211	49	1380	46.5	38.2	12
LEGRIT 135-1.2 AL M	1370	53	20	1300	46.9	38.1	12
LEGRIT 165-1.6G M	1650	84	21	1570	56.2	37.0	12
LEGRIT 165-1.6 M	1650	84	21	1440	58.3	34.4	12

** VALOR TECNICO EN UN LUGAR SECO Y FRESCO

NOTA: TODOS LOS DATOS SON TÍPICOS. ESTÁN SUJETOS A VARIACIONES NORMALES. POR LO TANTO NO DEBEN TOMARSE COMO ESPECIFICACIONES.
PARA INFORMACIÓN DETALLADA FAVOR DE COMUNICARSE CON EL REPRESENTANTE DE VENTAS.

CONCEPTO PLASTICOS Y APISONABLES	TEMP. °C MAXIMA DE SERVICIO	MODULO DE RUPTURA SECO A 110°C kg/cm ²	CANTIDAD NECESARIA kg/m ²	ENVASE KG.		ALUMINA PROMEDIO %	SILICE PROMEDIO %	VIDA EN ALMACEN (MESES)**
				CAJA	LATA			
PLASTICOS								
DIPLAST 160 M	1763	15.0	2412	50		46.0	50.3	6
DIPLAST 170 M	1865	29.0	2850	50		83.2	12.7	6
DIPLAST 170K M	1885	115.0	3200	50		82.7	13.0	6
DIPLAST 185KC M	1885	112.0	3200	50		83.9	5.9	6
DIPLAST 185K M	1885	106.0	3350	50		90.9	7.0	6
APISONABLES								
RESISTIT 165 V M	1865	30.0	2950		35	83.0	13.0	6

CONCEPTO MORTEROS	TEMP. °C MAXIMA DE SERVICIO	TIPO		FRAGUADO		ENVASE/ kg.		CANTIDAD (KG.) PARA PEGAR 1000 LAD. 9x4 1/2 x 2 1/2"	ALUMINA PROMEDIO %	SILICE PROMEDIO %	VIDA ALMACEN (MESES)**	CLASIFICACION	
		HUMEDO	SECO	CALOR	AIRE	SACO	LATA						
MORTEROS HUMEDOS													
DIDTECT 145V M	1650	X			X			40	180	42.3	51.7	9	CS
RESITECT 160V M	1760	X			X			50	190	61.6	32.2	9	AA
RESITECT 180KV M	1650	X			X			50	225	86.5	8.8	3	XA/LF
RESITECT 190 KSV E-13 M	1870	X			X			50	278	93.3	1.2	3	XA/LF
MORTEROS SECOS													
RESIMUR 47 M	1450		X	X				25	145	50.0	41.0	12	CS
RESIMUR 150 M	1650		X		X			25	140	52.7	44.7	9	CS
RESIMUR 160 M	1250		X		X			25	120	50.0	41.0	9	CS
RESIMUR 148 M	1650		X		X			25	135	52.6	39.9	9	CS
RESIMUR 60/80 M	1760		X	X				25	181	67.6	28.9	12	AA

A= ARILLA REFRACTARIA
AA= ALTA ALUMINA

LF= LIGA FOSFORICA
XA= EXTRA ALTA ALUMINA

CS= CALIDAD SUPERIOR
**= BAJO TECHO EN UN LUGAR SECO Y FRESCO

CONCEPTO ESPECIALIDADES BASICAS	CANTIDAD REQUERIDA** Kg/m ³	RESISTENCIA COMPRESION Kg/cm ²	ANALISIS QUIMICO %					
			MgO	Cr2O3	Fe2O3	SiO2	CaO	Al2O3
MORTEROS								
CROMBOND	NA	NA	24.0	27.5	13.0	7.6	0.6	23.7
CROMSET	NA	NA	15.3	29.2	14.0	13.1	0.5	26.0
ANKERFIX TN20 M	NA	NA	88.0	0.0	0.7	6.6	1.5	2.6
CONCRETOS								
BASICRETO	2600	60	25.7	24.9	14.0	3.8	6.1	26.0
ANKERMIX ZP13 M	2600	200	85.0	0.0	0.6	1.2	2.9	7.4
PLASTICOS								
CROMO PLASTICO	NA	NA	19.2	30.2	12.0	9.0	0.5	0.5
APISONABLES								
ANKERMIX NS13M	2500	90	90.0	0.0	1.8	3.0	1.7	1.8
ANKERMIX NS03M	2550	120	95.0	0.0	0.6	0.5	1.2	0.1
ANKERMIX NN03M	2500	10	98.4	0.0	0.1	0.4	1.0	0.1

NOTAS:
NA= NO APLICABLE
**= NO INCLUYE AGUA

NOTA: TODOS LOS DATOS SON TIPICOS. ESTAN SUJETOS A VARIACIONES NORMALES, POR LO TANTO NO DEBEN TOMARSE COMO ESPECIFICACIONES.
PARA INFORMACION DETALLADA FAVOR DE COMUNICARSE CON EL REPRESENTANTE DE VENTAS.

UNIDAD ORIGINAL	MULTIPLICAR POR	UNIDAD DESEADA
Gramos (g)	0.001	Kilogramos (Kg)
Libras (lb)	454	Gramos (g)
Libras (lb)	2.2026	Kilogramos (Kg)
Centímetros (cm)	0.0328	Pies (ft)
Pies (ft)	0.3048	Metros (m)
Kilogramos /Centímetro ² (Kg/cm ²)	14.21	Libras por Pulgada ² (lb/in ²)
Kilogramos /Centímetro ³ (Kg/cm ³)	0.09807	Mega Pascales (Mpa)
Kilogramos/Metro ³ (Kg/m ³)	0.2048	Libras/Pie ³ (lb/ft ³)
Newtons/Milímetro ² (N/mm ²)	10.1947	Kilogramos/Centímetro ² (Kg/cm ²)

CONCEPTO	CONO. PIROMETRICO	TEMP. °C EQUIV. A C.P. ORTON	DENSIDAD PROMEDIO gr/cm ³	POROSIDAD APARENTE %	COMPRESION EN PLANO kg/cm ²	MODULO DE RUPTURA kg/cm ²	ALUMINA PROMEDIO %	SILICE PROMEDIO %
LADRILLOS								
ALTA CALIDAD								
MAXIAL 282-M (2)	18	1522	2.22	11.2	566	187	26.5	65.1
MAXIAL 210-M	32	1717	2.23	20.8	305	86	43.7	51.4
MAXIAL 215-M	33	1742	2.24	17.9	318	90	44.8	51.0
CALIDAD SUPERIOR								
MAXIAL 300-M	33	1742	2.28	15.6	401	93	44.9	51.2
MAXIAL 310-M	33	1742	2.29	13.2	478	113	45.4	50.9
ALTA ALUMINA								
RESISTAL M50-M	34	1755	2.42	15.0	700	130	51.0	45.4
RESISTAL M50C-M	36	1804	2.48	15.5	338	120	52.0	44.5
RESISTAL B50-M	35	1785	2.39	18.5	282	111	56.9	41.6
RESISTAL M60-M	37	1820	2.47	16.0	570	176	57.0	38.6
RESISTAL M70-M	38	1820	2.47	17.0	170	550	64.0	33.6
RESISTAL M70C-M	37	1820	2.85	14.4	457	133	72.0	23.0
RESISTAL B65-M	38	1835	2.58	21.0	332	99	72.8	23.5
RESISTAL B75-M	38	1835	2.62	21.0	422	109	77.7	17.7
RESISTAL B80-M	38	1835	2.71	19.6	457	120	82.0	13.5
EXTRA ALTA ALUMINA								
RESISTAL B85C-M (1)	38	1835	2.82	15.0	700	246	84.6	12.1
RESISTAL B85AC-M (1)	38	1835	2.82	15.0	914	246	84.8	11.9
RESISTAL B80C-M (1)	38	1835	2.81	15.6	850	200	84.7	11.3
RESISTAL A90-M	38	1835	3.02	14.3	1125	197	90.0	8.0
RESISTAL A90C-M (1)	38	1835	2.95	13.6	984	190	89.5	8.8
RESISTAL A95C-M (1)	38	1835	3.05	12.2	1125	253	93.4	5.5
LADRILLO AISLANTE QUEMADO								
LEGRAL 25/09	NA	1260*	0.76	NA	28	12	36.4	47.8
LEGRAL 05/12	NA	1095*	1.14	NA	39	35	36.7	56.9
LEGRAL 50/10 2%	NA	1535*	1.00	NA	63	39	57.1	36.9
LEGRAL 40/08 2%	NA	1425*	1.00	NA	49	28	56.8	37.3
LADRILLO AISLANTE NO QUEMADO								
LEGRAL 05/07	NA	1095*	0.66	NA	25	11	11.2	71.3
LEGRAL 25/08	NA	1260*	0.78	NA	32	10	35.8	49.5
EXTRUIDOS (SM)								
MAXIAL 110	33	1742	2.26	12.9	309	120	39.8	56.9
MAXIAL 110-S (3)	33	1742	2.20	17.0	NA	NA	42.3	53.6
ALUMINA CARBON								
SICAL B 125N-M	NA	NA	2.83	7.0	390	130	59.0	23.0
SICAL B 175N-M	NA	NA	2.90	8.0	490	149	65.5	20.0
ANKO B3MR5-M	39	1865	2.92	8.5	668	182	80.1	8.9
ANKO B5MR5-M	39	1865	3.11	6.0	855	245	83.0	3.3

Notas:

(1) = LIGA FOSFORICA

(2) = ACIDO RESISTENTE

(3) = PIEZAS PARA VACIADO

NA = NO APLICA

* TEMP. MAXIMA DE SERVICIO

CONCEPTO BASICOS	DENSIDAD g/cm ³	POROSIDAD APARENTE %	MODULO DE RUPTURA			RESISTENCIA COMPRESION kg/cm ²	ANALISIS QUIMICO %		
			EN FRIJO Kg/cm ²	EN CALIENTE Kg/cm ²	1260 1400 1480 °C		MgO	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
LIGA CERAMICA									
REFCROM CB	3.14	20.0	70	40		300	39.0	26.0	12.0
REFCROM 40 B	3.08	19.0	50	40		300	44.0	21.0	12.0
LIGA DIRECTA									
REFCROM 50 DBR	3.10	16.0	65	40		350	52	21	9
REFCROM 50FG	3.20	16.0	60	40		400	60	19	11
REFCROM FG	3.30	14.0	120	50		700	58	18	12
REFCROM 60DBR	3.07	17.0	45	30		292	60.9	17	10
RUBINAL VSM	2.90	17.0	160	95		500	98.6		0.3
MAGNESIA-CARBON									
CARBOMAG 10 M	2.80	5.0	100	90		300	90.8		0.2

NOTA: TODOS LOS DATOS SON TIPICOS. ESTAN SUJETOS A VARIACIONES NORMALES, POR LO TANTO NO DEBER TOMARSE COMO ESPECIFICACIONES. PARA INFORMACION DETALLADA FAVOR DE COMUNICARSE CON EL REPRESENTANTE DE VENTAS.

CONCEPTO	TEMP. °C MAXIMA DE SERVICIO	COMPRESION EN PLANO SECO A 105°C kg/cm ²	MODULO DE RUPTURA SECO A 105°C kg/cm ²	CANTIDAD NECESARIA kg/m ³ COLADO	ALUMINA PROMEDIO %	SILICE PROMEDIO %	USARSE ANTES DE (MESES)**
CONCRETOS DENSOS CONVENCIONALES							
COMPRIT 140HR M	1400	351	70	2040	47.9	42.3	12
COMPRIT 137 M	1425	316	70	1980	48.9	40.5	12
COMPRIT 135 M	1510	140	63	2080	52.9	39.0	12
COMPRIT 160H M	1650	316	71	2220	61.3	32.5	12
COMPRIT 151 M	1512	211	63	2215	63.0	29.7	12
COMPRIT 165H M	1680	352	77	2570	82.1	12.5	12
COMPRIT 180F M	1800	428	109	2920	92.6	1.3	12
COMPRIT 180H M	1870	527	127	2670	93.5	0.4	12
COMPRIT 178H M	1870	344	98	2885	93.7	0.4	12
COMPRIT 185F M	1870	140	42	2630	94.6	0.4	12
COMPRIT 185H M	1870	155	56	2630	96.3	0.3	12
CONCRETOS DE BAJO CEMENTO							
DIDURIT 123SiC M	1538	738	106	2307	34.1	31.9	6
DIDURIT 137AL M	1370	692	107	2227	42.4	49.8	6
DIDURIT 158 M	1482	633	112	2162	45.9	49.9	6
DIDURIT 166 M	1705	867	124	2371	59.5	35	6
DIDURIT 165 M	1650	664	135	2550	60.1	36.6	6
CARSIT TRC-SR M	1500	461	91	3050	63.0	4.0	6
DIDURIT 115AL M	1427	949	141	2483	65.7	28.1	6
DIDURIT 157SiC M	1566	844	112	2675	71.5	8.9	6
DIDURIT 170 M	1705	598	106	2645	71.6	23.2	6
DIDURIT 168 M	1705	913	179	2483	72.0	22.3	6
DIDURIT 125AL M	1370	859	135	2675	81.85	12.58	6
DIDURIT 180 M	1870	394	148	3050	90.7	6.9	6
PROYECTABLES DENSOS							
COMPRIT 150S M	1425	246	67	1980	47.8	41.5	12
DIDURIT 164S M	1650	688	143	2190	48.1	44.4	6
DIDURIT 154S M	1538	662	136	2210	53.2	40.9	6
CARSIT BSC-S M	1650	310	80	2290	66.0	11.0	6
DIDURIT 160S M	1705	562	141	2350	71.5	23.3	6
CONCRETOS LIGEROS							
LEGRIT 100-0.5 M	870	6	3	400	13.6	43.5	12
LEGRIT 100-0.8 M	960	25	14	720	18.3	46.1	12
LEGRIT 104-0.5 M	1040	2.46	1.41	320	31.5	26.3	12
LEGRIT 120-0.9 M	1260	21	7	835	38.5	48.2	12
LEGRIT 120-1.0 M	1205	28	11	800	41.0	40.0	12
LEGRIT 135-1.3 M	1370	56	20	1300	41.3	44.6	12
LEGRIT 135-1.3G M	1370	56	20	1495	42.8	43.2	12
LEGRIT 125-0.9 M	1260	35	10.5	888	43.5	37.9	12
LEGRIT 142-1.3G M	1427	169	50	1682	44.5	44.6	12
LEGRIT 142-1.3 M	1427	211	49	1380	46.5	38.2	12
LEGRIT 135-1.2 AL M	1370	53	20	1300	46.9	38.1	12
LEGRIT 165-1.6G M	1650	84	21	1570	56.2	37.0	12
LEGRIT 165-1.6 M	1650	84	21	1440	58.3	34.4	12

** BAJO TECHO EN UN LUGAR SECO Y FRESCO

NOTA: TODOS LOS DATOS SON TÍPICOS, ESTAN SUJETOS A VARIACIONES NORMALES, POR LO TANTO NO DEBEN TOMARSE COMO ESPECIFICACIONES.
PARA INFORMACION DETALLADA FAVOR DE COMUNICARSE CON EL REPRESENTANTE DE VENTAS.

A.3 HOJA DE DATOS TECNICOS DE LOS LADRILLOS AISLANTES INSTALADOS EN LAS REPARACIONES.

Technisches Datenblatt / Data sheet		Rev. Hp / 02.03.2005	
JUTHERM IS 127 A		Isolierstein / insulating brick	
Algemeine Eigenschaften / General properties			
ROHSTOFFBASIS Raw material base	Moler-Erde Moler-earth		
BINDUNGSART: Type of setting	keramisch ceramic		
ROHDICHTE Bulk density	0,55 g/cm ³		
CHEMISCHE ANALYSE: Chemical analysis	Al ₂ O ₃	9,00 %	
	SiO ₂	77,00 %	
	Fe ₂ O ₃	7,00 %	
	CaO	0,80 %	
	LOI	1,50 %	
KLASSIFIKATIONSTEMP.: Classification temperature	900 °C		
POROSITÄT (OFFEN): Porosity (apparent) EN 1049-4	77,0 %		
Physikalische Eigenschaften / Physical properties			
IRREV. LÄNGENÄNDERG. Irrev. change of length DIN 51066	REV. THERM. DEHNUNG Rev. therm. expansion BS 1902	KALTDROCKFESTIGKEIT Cold crushing strength EN 1094-5	WÄRMELEITFÄHIGKEIT Thermal conductivity ASTM C-182
		1,4 MPa	
			0,091 W/mK
			0,101 W/mK
			0,113 W/mK
		0,16 %	
850 °C	12 h: -1,00 %		
Weitere Eigenschaften / Further properties			

A.4 HOJA DE DATOS TECNICOS DE LOS LADRILLOS REPSA



REFRACTARIOS PERUANOS S.A.

HOJA DE DATOS TECNICOS

Teléfono: 51-1-5151100

Fax: 51-1-4641181

Mail: ventas@repsa.com.pe

www.repsa.com.pe

NOMBRE: **VARNON**

DESCRIPCION: Ladrillo sílico-aluminoso de super refractariedad y resistente a la abrasión.

PROPIEDADES FISICAS TÍPICAS:	Media	Desv. Est.
Temperatura máxima de servicio (°F/°C)	2910/1599	
Densidad global		
lb/pie ³	137	2
kg/m ³	2195	32
Porosidad aparente (%)	15.3	1.5
Módulo de rotura a 21 °C		
lb/pulg ²	1750	200
MPa	12.1	1.4
Resistencia a la compresión a 21 °C		
lb/pulg ²	5500	500
MPa	37.9	3.4
Cambio lineal permanente (%) después de calentar a 1300°C	0.0	

ANÁLISIS QUÍMICO APROXIMADO:

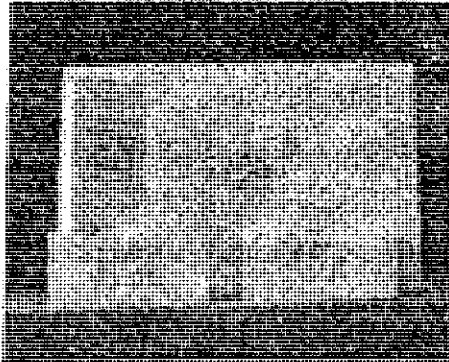
		%
Sílica	SiO ₂	57.8
Alúmina	Al ₂ O ₃	37.2
Titania	TiO ₂	1.7
Óxido Férrico	Fe ₂ O ₃	1.8
Cal	CaO	0.2
Magnesia	MgO	0.3
Álcalis	Na ₂ O+K ₂ O+LiO ₂	0.9

NOTA : Los datos mostrados están basados en resultados promedios sobre muestras de producción y están sujetos a variaciones normales sobre pruebas individuales. Los datos no pueden ser tomados como valores mínimos y máximos para propósitos de especificación. Los métodos usados para la determinación de los datos corresponden a Normas Nacionales de INDECOP y Internacionales de A.S.T.M.

MAYO 2007

ASOCIADA A: HARBISON-WALKER REFRACTORIES COMPANY





Type
Insulating Firebricks

Classification Temperature From:
1260°C up to 1538°C

Maximum Continuous Use Temperature

The maximum continuous use temperature depends on the application. In case of doubt, please refer to your local Thermal Ceramics distribution for advice.

Description

TJM brick is another range of insulating firebricks manufactured by Thermal Ceramics group. The TJM brick has three grades, with limiting temperatures of use ranging from 1260°C to 1538°C.

TJM insulating firebricks are made from high-purity refractory clays, with graduated additions of alumina for the higher temperature products, and a carefully graded organic filler, which burns out during manufacture to give a uniform, controlled pore structure.

Each brick is machined to precise tolerances on all faces.

Also available, is a range of mortars to suit the different grades of brick.

Special Shapes

Available in pre-machined special shapes

Features

- **Low thermal conductivity**
Gives good thermal insulation, enabling the use of thin-walled constructions.
- **Low heat storage**
Due their light weight, coupled with low thermal conductivity, the TJM bricks absorb minimal heat, giving significant energy savings in cyclicly operated kilns.
- **Purity**
The low iron and alkali flux content confers good refractoriness and the high alumina content contributes to their stability in reducing atmospheres.
- **High cold crushing strength, yet low thermal conductivity properties**
- **Accurate dimensions**
Enables the bricks to be laid more efficiently, with thin, uniform joints, allowing the construction of strong and stable structures.
- **Large bricks or slabs**
Available in custom-made large sizes. These can be machined into special shapes, incurring fewer sections and joints.

Typical Applications

- Back-up insulation & hot face lining

Insulating Fire Bricks TJM

Product Information

Main Properties		TJM 23	TJM 26	TJM 28
IFB Classification Temperature	°C	1260	1427	1538
• Density (Bulk)	kg/m ³	500	780	880
• Modulus of Rupture	MPa	0.8	1.8	3.1
• Cold Crushing Strength	MPa	1.2	2.3	4.1
High Temperature Performance				
• Permanent Linear Shrinkage at 12 hours soaking at classification temperature	%	0.1	0.4	2.0
• Reversible Thermal Expansion	10 ⁻⁴ m/m-°C	5.0	5.4	5.7
• Hot Load Deformation, 1.5 Hr at				
1100°C, 0.034 MPa	%	0.3	-	-
1260°C, 0.069 MPa	%	-	0.4	-
1320°C, 0.069 MPa	%	-	-	0.3
• Thermal Conductivity at mean temperature				
200°C	W/mK	0.15	0.28	0.32
400°C	W/mK	0.18	0.29	0.33
600°C	W/mK	0.22	0.32	0.34
800°C	W/mK	0.27	0.35	0.37
1000°C	W/mK	0.32	0.39	0.41
1200°C	W/mK	0.38	0.43	0.46
1400°C	W/mK	-	0.47	0.50
Chemical Composition (Wgt. %)				
Al ₂ O ₃	%	45	59	64
SiO ₂	%	48	37	32
Fe ₂ O ₃	%	0.8	0.7	0.6

Standard Packing (standard Dimension):

10 pieces per box

Standard Dimension (mm):

Type	Standard
Length	230
Width	114
Thickness	65

**We are capable of making large bricks or slabs*

Your local contact :

The values given herein are typical average values obtained in accordance with accepted test methods and are subject to normal manufacturing variations. They are supplied as a technical service and are subject to change without notice. Therefore, the data contained herein should not be used for specification purposes. Check with your Thermal Ceramics office to obtain current information.

Marketing Communications Offices

Thermal Ceramics Americas
 2102 Old Savannah Road
 Augusta, Georgia 30909
 T: +1 (706) 796 4200
 F: +1 (706) 796 4398
 E-mail: tceramics@thermalceramics.com

Thermal Ceramics Asia Pacific
 28 Jalan Klang Barat
 Kawasan Industri
 Singapore 159362
 T: +65 6273 1561 F: +65 6273 0165
 E-mail: thermceras@tccasia.com.sg

Thermal Ceramics Europe
 Tetbury Road
 Bromborough Wirral
 CH62 3PH England
 E: +44 (151) 334 4000 F: +44 (151) 334 1684
 E-mail: marketing@thermalceramics.co.uk

Website: www.thermalceramics.com

A.5 VARIEDAD DE FIBRA DE VIDRIO

Inf. 123
122 << Pág. >> 124

SAFFIL® / MAFTEC®

FIBRAS DE ALÚMINA

11:
C123

1. DESCRIPCIÓN.

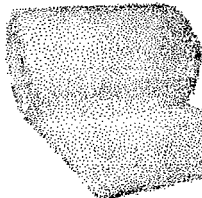
Las fibras de alumina SAFFIL® y MAFTEC® son fibras de alta pureza especialmente diseñadas para usos hasta método de fabricación permite un exacto control del diámetro de la fibra y una completa ausencia de granalla.

Estas fibras de alta alumina aportan todas las deseables propiedades de las fibras cerámicas conocidas, tales como facilidad de uso, baja conductividad térmica, baja masa térmica y completa inmunidad al choque térmico, todo ello en máximos extremos de temperatura y ambientes químicos.

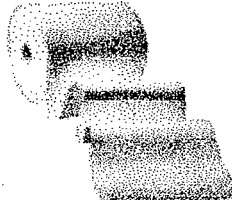
Muestran mejores comportamientos que otras fibras cerámicas en tres principales áreas: refractariedad, resiliencia y ataque químico. Las dos primeras ventajas son el resultado de la acción combinada de dos factores: su estructura micro-cristalina significa la imposibilidad de desvitrificación térmica, y la incorporación durante la fabricación de estabilizantes de fase ca

2. PROPIEDADES. (Ver: Tablas Técnicas para cálculo de revestimientos B.I.T. >> MCF 26.)

TIPO	TEMPERATURA		DENSIDAD		CALOR ESP. @ 1.090° C	RESISTENCIA		DUREZA		Ø FIBRA Medio
	Clasificación Fusión		Real	Aparente		Tracción	Escala:			
	t _c (°C)	t _f (°C)	(g/cm ³)	ρ (kg/m ³)	c (kJ/kgK)	σ _{ROT} (MPa)	Mohs Knoop		(μm)	
MAFTEC	1.600			96-128	1,25	--	--	--	--	
SAFFIL	1.600	>2.000	3,40	96-250	1,00	1.000	6	700	3	



Esterilla B. D. SAFFIL

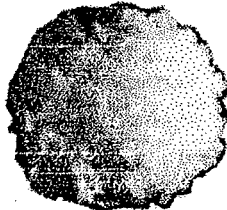


Papel SAFFIL

MAFTEC	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA:				
	λ MTA				
	200	400	600	800	1000
	--	0,082	0,120	0,175	0,240

3. FIBRA EN RAMA

	MAFTEC		SAFFIL	
	1 kg	5 kg	1 kg	1 kg
	€/saco	€/saco	€/saco	€/saco
ρ = de 50 a 250				



Fibra en Rama SAFFIL

4. MANTA:

La manta Saffil se suministra a peso sin especificar longitud / densidad (10 kg/ rollo). La manta Maftec se suministra en rollos de longitud y densidad específicas.

MAFTEC	Esp mm	128 kg/m ³	SAFFIL	Esp mm	1 kg
3,6m x 0,61m		€/ro.	0,61m		€/
(2,2m ²)	25	€/ml	25		
		*			

5. ESTERILLA SAFFIL® BAJA DENSIDAD:

Se suministra en cajas: Cada caja contiene un rollo continuo de 10 kg y aprox. 610 mm espesor y densidad no especificados.

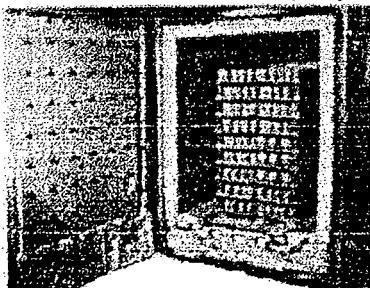
SAFFIL	Esp mm	1 kg	10 kg
0,61m	25	€/saco	€/rollo
		*	*

6. PAPEL SAFFIL®

Rollos de 10 m²

Contiene 6% de aglomerante orgánico Resistividad 3-10¹³ Ω/m. Constante dieléctrica: 1,55

Esp mm	Anc. mm	Long m	TIPO 1.600	€
			€/ro.	
1,0	550	18,18		
2,0	550	18,18		
3,0	550	18,18		



Horno para Cocción de Porcelana a 1400°C.

A.6 VARIEDAD DE FIBRA CERAMICA

Inf. 121/1
Pag. >>2

Kaowool®

11-j
C121_U

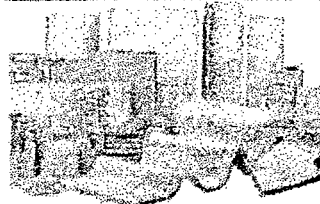
FIBRA CERÁMICA REFRACTARIA Y AISLANTE

1. DESCRIPCIÓN

La fibra cerámica **Kaowool®** es una fibra inorgánica soplada de alta pureza. Una extraordinaria combinación de propiedades refractorias hacen de ésta un *material excepcional para aplicaciones a alta temperatura*. La fibra base, que es blanca, puede transformarse en una amplia gama de formas de producto para adaptarse a muy diferentes aplicaciones.

2. PROPIEDADES (Tablas Térmicas para cálculo de revestimientos B.I.T. >>>MCF26)

TIPO Kaowool	TEMPERATURA		DENSIDAD Real (g/cm ³) p. (kg/m ³)	CAL ESP. @1.050° C c (kJ/kgK)	RESISTENCIA Tracción σ _t (MPa)	DUREZA Escala: Mohs Knoop	FIBRA		AN Quí.		
	Clasificación Fusión t _c (°C)	Fusión t _f (°C)					Medio	Al ₂ O ₃ %			
NORMAL	1.260	1.760	2,56	50-250	1,13	1.400	6	700	2-3	47	52
ZIRCONIA	1.425	1.650	2,65	50-250	1,13	1.400	6	700	2-3	36	50
CHROME	1.425	>1.650	2,65	50-250	1,13	1.400	6	700	2-3	54	42



Gama de Productos Kaowool



Fibra en Rama Kaowool



Manta Kaowool



Manta Kaowool con aluminio



Papel Kaowool



Papel Ultrafelt®

Fibra baja bio-peristencia Superwool: >>>198

TIPO Kaowool	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA: A (Manta de 1					AN
	200	400	600	800	1000	
NORMAL	0,060	0,09	0,14	0,20	0,27	—
CHROME	0,060	0,09	0,14	0,20	0,27	0,33

3. FIBRA EN RAMA Kaowool p = 30 ± 2

TIPO Kaowool	BULK 'A' FIBRA LARGA C / LUBRICANTE			HI-YIELD 'HY' FIBRA LARGA		CORTAJE
	1 kg €/bolsa	10 kg €/saco	20 kg €/bala	S / LUBRIC.	FINA: E08 €/bala	
NORMAL	*	*	*	*	*	*
ZIRCONIA	*	*	*	*	*	*
CHROME	—	—	—	—	—	—

4. MANTA Kaowool: ancho 0,81m p = 48 a 180 kg

TIPO	kg / m ² ..			48 €/ro.	64 €/ro.	96 €/ro.	120 €/ro.
	m	m ²	mm				
NORMAL	25,62	15,63	6	—	—	—	*
	14,64	8,93	13	*	*	*	*
	9,76	5,95	19	—	—	*	*
	7,32	4,46	25	—	*	*	*
	4,88	2,98	38	—	*	*	*
	3,66	2,23	50	—	—	—	*
ZIRCONIA	14,64	8,93	13	—	—	—	—
	7,32	4,46	25	—	—	—	*
	3,66	2,23	50	—	—	—	—
CHROME	7,32	4,46	25	—	—	—	—

5. PAPEL Kaowool: (6% Polímero Acrílico) p = 23%

ESP mm	ANCHO mm	LNG m	TIPO 1.260		ADHESIVO		MICA (0,2mm)	
			€/ro.	€/m	€/ro.	€/m	€/ro.	€/m
0,5	500	40	*	*	—	—	—	—
1,0	500	40	*	*	—	—	—	—
1,0	1.000	40	*	*	—	—	—	—
2,0	500	20	*	*	—	—	—	—
2,0	1.000	20	*	*	—	—	—	—
3,0	500	15	*	*	*	—	—	—
3,0	1.000	15	*	*	—	—	—	—
4,0	500	10	*	*	—	—	—	—
5,0	500	10	*	*	—	—	—	—
6,0	500	10	*	*	—	—	—	—

6. PAPEL Kaowool Ultrafelt: 100% Inorgánico (sin humos ni granalla).

ESP	ANCHO	LONGITUD	SUPERFICIE	DENSIDAD	TI
-----	-------	----------	------------	----------	----

file://D:\C121_1_Kaowool.htm

14/09/2009

A.7 TABLAS DE DATOS TECNICOS DE MATERIAL REFRACTARIO
USADO EN LA INSTALACION.

Spec.-No. 1.01										
SK <u>34</u> OC _____	Anwendungstemperatur Service Temperature <u>1200 °C</u>					Max. Anwendungstemperatur Max. Service Temperature <u>1300 °C</u>				
Material-Typ Type of material	Schamottestein A 40 T Fireclay Brick A 40 T					Verarbeitung: Application:	vermörtelt trowelling			
Rohstoffbasis Base Material	Schamotte Fire Clay					Bindungsart Type of bonding	Keramisch ceramically			
Chem. Analyse in Chem. Analysis	Al ₂ O ₃ 41,0	TiO ₂ 1,70	SiO ₂ 54,0	Fe ₂ O ₃ 1,50	Na ₂ O	K ₂ O	CaO 0,2	MgO 0,4	Cr ₂ O ₃	P ₂ O ₅
Porosität (offen) Apparent Porosity	<u>14</u> %		Raumgewicht Bulk Density <u>2,33</u> t/m^3			Mat.-Bedarf: Mat. requ.: _____ t/m^3 Mat. nec.:				
Temp.-Wechselbest. (Anzahl der Abschreckungen) Thermal Shock Resistance (number of quenchings)					in Wasser / in Water <u>> 25</u>			an Luft / on Air _____ x		
Druckerweichung DE Refractoriness under load		t _{0,5} _____ ° t _n <u>1480</u> °			Abriebfestigkeit: Abrasion Resistance: _____ ASTM-Test C704					
	KDF Cold Crushing Strength	Biegezugfestigkeit Modulus of rupture		Wärmeleitfähigkeit Thermal Conductivity		Bleibende Längenänderung nach Erhitzen Perm. lineare change after heating		Wärmedehn. revers dilatation rev.:		
	nach Erhitzen auf after heating to									
°C	N/mm ² > 55	N/mm ²		W/mK		%		%		
300										
500				1,40				< 0,20		
700										
750				1,50				< 0,50		
1000				1,50				< 0,60		
1200										
Handelsbezeichnung: MAXIAL 312 M										
Trade name:										
Bemerkungen / Remarks:										

Spec.-No. 2.02											
SK _____ OC _____ CS _____	Anwendungstemperatur Service Temperature					Max. Anwendungstemperatur Max. Service Temperature					
		1250 °C					1320 °C				
Material-Typ Type of material	Insulating fire brick ASTM 24					Verarbeitung: Application:					
							vermörtelt trowelling				
Rohstoffbasis Base Material	Schamotte Fire Clay					Bindungsart Type of bonding					
							keramisch ceramical				
Chem. Analyse in Chem. Analysis	Al ₂ O ₃	TiO ₂	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	MgO	Cr ₂ O ₃	P ₂ O ₅	
	35,0		60,0	1,50	0,30		0,60	0,50			
Porosität (offen) Apparent Porosity	> 45 %		Raumgewicht Bulk Density		0,70 t/m ³		Mat.-Bedarf: Mat. requ.:		t/m ³		
Temp.-Wechselbest. (Anzahl der Abschreckungen) Thermal Shock Resistance (number of quenchings)					in Wasser / in Water dans l'eau			an Luft / on Air à l'air			
								x			
Druckerweichung DE Refractiness under load		t _{0,5} _____		Abriebfestigkeit: Abrasion Resistance:							
Druckfeuerbeständigkeit OFB Fire resistance under load		t _a _____		ASTM-Test C704							
	KDF Cold Crushing Strength	Fliegefestigkeit Modules of rupture		Wärmeleitfähigkeit Thermal Conductiv.		Bleibende Längenänderung nach Erhitzen Perm. linear change after heating		Wärmedämm. revers insulation rev.:			
	nach Erhitzen auf after Heating to										
	°C	N/mm ²		W/mK		%		%			
	400	2,0		0,19							
	600			0,22							
	800			0,25							
	1300			0,29				≤ 0,41			
	1320					- 0,7					
Handelsbezeichnung: Trade name:											
					LEOPAL 28/7						
Bemerkungen / Remarks: CaO free											

Spec.-No. 2.03												
SK _____ OC _____ CS _____	Anwendungstemperatur Service Temperature					Max. Anwendungstemperatur Max. Service Temperature						
Material-Typ Type of material					Insulating brick						Verarbeitung: Application:	vermörteln trowelling
Rohstoffbasis Base Material					Perlite						Bindungsart Type of bonding	keramisch ceramical
Chem. Analyse in Chem. Analysis	Al ₂ O ₃	TiO ₂	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	MgO	Cr ₂ O ₃	P ₂ O ₅		
	14,80	0,50	66,50	4,10			4,20	2,10				
Porosität (offen) Apparent Porosity			> 77 %			Raumgewicht Bulk Density			0,43 t/m ³		Mat.-Bedarf: Mat. requ.:	l/m ³
Temp.-Wechselbest. (Anzahl der Abschreckungen) Thermal Shock Resistance (number of quenchings)					in Wasser / in Water dans l'eau			an Luft / on Air à l'air				
Druckverweichung DE Refractriness under load				f _{0,5} _____ °		Abriebfestigkeit: Abrasion Resistance:						
Druckfeuerbeständigkeit DFB Fire resistance under load				f _{1h} _____ °		ASTM-Test C704						
	KDF Cold Crushing Strength	Biegezugfestigkeit Modulus of rupture		Wärmeleitfähigkeit Thermal Conductivity		Bleibende Längenänderung nach Erhitzen Perm. lineare change after heating		Wärmedehn. revers dilatation rev.:				
°C	N/mm ²	N/mm ²		W/m K		%		%				
200	1,3			0,10								
400				0,12				≤ 0,16				
600				0,14								
850						- 1,0						
1320												
Handelsbezeichnung: Trade name:					PYROSTOP ISOL 450							
Bemerkungen / Remarks:												

Spec.-No. 3.01											
SK _____	Anwendungstemperatur Service Temperature					Max. Anwendungstemperatur Max. Service Temperature					
	1350 °C					1480 °C					
Material-Typ Type of material	Feuerbeton C50 Refractory Concrete C50					Verarbeitung: Application:					
						gießen casting					
Rohstoffbasis Base Material	Scharotte Fireclay					Bindungsart Type of bonding					
						hydraulisch hydraulically					
Chem. Analyse in Chem. Analysis	Al ₂ O ₃	TiO ₂	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	MgO	Cr ₂ O ₃	P ₂ O ₅	
	67,0	2,3	27,0	1,00			1,5				
Porosität (offen) Apparent Porosity	≤ 20 %		Raumgewicht Bulk Density			2,55 t/m ³		Mat.-Bedarf: Mat. requ.:			2,55 t/m ³
Temp.-Wechselbest. (Anzahl der Abschreckungen) Thermal Shock Resistance (number of quenches)						in Wasser / in Water		an Luft / on Air			
						≥ 20		_____ x			
Druckerweichung DE Refractoriness under load	t _{0,5} _____ °					Abriebfestigkeit: Abrasion Resistance:					
Druckfeuerbeständigkeit DFB Fire resistance under load	t ₄ _____ °					ml _____ ≤ 8					
						ASTM-Test C704					
	KZF Cold Crushing Strength	Abgezugsfestigkeit Modulus of rupture		Wärmeleitfähigkeit Thermal Conductivity		Bleibende Längenänderung nach Erhitzen Perm. linear change after heating		Wärmedehn. revers dilatation rev.:			
	nach Erhitzen auf after Heating to	Modulus de rupture		Conductibilité thermique		after heating Modification de la longueur (rev.)		Calculatlon rev.:			
	°C	N/mm ²		W/mK		%		%			
	110	80,0									
	400			1,80							
	600			1,70							
	815	100,0		1,55							
	1000					0,10		0,6			
	1200			2,00							
	1400										
Handelsbezeichnung: Trade name:	DIDURIT 168 0-5 M										
Bemerkungen / Remarks:											

Spec.-No. 3.02											
SK _____	Anwendungstemperatur Service Temperature <u>1350</u> °C					Max. Anwendungstemperatur Max. Service Temperature <u>1480</u> °C					
Material-Typ Type of material	Plastische Masse Plastic Mix					Verarbeitung: Stampfen Application: Ramming					
Rohstoffbasis Base Material	Schamotte Fireclay					Bindungsart keramisch Type of bonding ceramic					
Chem. Analyse in Chem. Analysis	Al ₂ O ₃	TiO ₂	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	MgO	Cr ₂ O ₃	P ₂ O ₅	
	80,2	2,70	14,7	1,20			0,60	0,30			
Porosität (offen) Apparent Porosity	≤ 20 %		Raumgewicht Bulk Density			≥ 2,60 t/m ³		Mat.-Bedarf: Mat. requ.:			≥ 2,62 t/m ³
Temp.-Wechselbest. (Anzahl der Abschreckungen) Thermal Shock Resistance (number of quenchings)					in Wasser / in Water			an Luft / on Air			
								_____ x			
Druckerweichung DE Refractoriness under load		t _{0,5} _____ °		Abriebfestigkeit: Abrasion Resistance:							
Druckfeuerbeständigkeit DFB Fire resistance under load		t _h _____ °		ml _____ ASTM-Test C704							
	KDF Cold Crushing Strength	Bruchzugfestigkeit Modulus of rupture		Wärmeleitfähigkeit Thermal Conductiv.		Stehende Längenänderung nach Erhitzen Perm. linear change after heating		Wärmeahn. revers dilatation rev.:			
	nach Erhitzen auf after Heating to	Module de rupture		Conductibilité thermique		Modification de la longueur (irrev.)		Dilatation rev.:			
°C	N/mm ²	t/mm ²		W/m K		%		%			
110	16,0										
500											
815	30,0										
1000				0,70		- 1,0		≤ 0,7			
1200											
1400											
Handelsbezeichnung: DIPLAST 170 0-5 M											
Trade name:											
Bemerkungen / Remarks:											

Spec.-No. 4.02											
SK _____	Anwendungstemperatur Service Temperature					1050 °C	Max. Anwendungstemperatur Max. Service Temperature				1150 °C
Material-Typ Type of material	Feuerleichtbeton Light weight concrete					Verarbeitung: Application:					Gießen casting
Rotstoffbasis Base Material	Vermikulit Vermiculite					Bindungsart Type of bonding					hydraulisch hydraulically
Chem. Analyse in Chem. Analysis	Al ₂ O ₃	TiO ₂	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	MgO	Cr ₂ O ₃	P ₂ O ₅	
	47,4	0,7	31,7	0,5			17,6				
Porosität (offen) Apparent Porosity	_____ %				Raumgewicht Bulk Density	0,86 t/m ³		Mat.-Bedarf: Mat. requi.:			0,86 t/m ³
Temp.-Wechselbest. (Anzahl der Abschreckungen) Thermal Shock Resistance (number of quenchings)						in Wasser / in Water		an Luft / on Air			
_____ x						_____ x		_____ x			
Druckerweichung DE Refractoriness under load	t _{0,5} _____ °					Abriebfestigkeit: Abrasion Resistance:					
Druckfeuerbeständigkeit DFB Fire resistance under load	t ₀ _____ °					ASTM-Test C704					
	KDF Cold Crushing Strength	Biegezugfestigkeit Modulus of rupture		Wärmeleitfähigkeit Thermal Conductiv.		Eisbande Längenänderung nach Erhitzen Ferm. linears change after heating		Wärmeexpn. revers Dilatation rev.:			
	nach Erhitzen auf after Heating to	Module de rupture		Conductibilité thermique		Modification de la longueur (rev.)		Dilatation rev.:			
	°C	N/mm ²		W/m·K		%		%			
	110	3,70		0,19							
	200			0,21							
	400										
	600										
	850	2,10									
	1000	1,90									
	1200	1,70						0,30			
Handelsbezeichnung: Trade name:											PYROSET 23VLI
Bemerkungen / Remarks:											

Spec.-No. 5.01											
SK _____	Anwendungstemperatur Service Temperature					1150 °C	Max. Anwendungstemperatur Max. Service Temperature				
Material-Typ Type of material		Keramische Faser Matte Ceramic fibre blanket					Verarbeitung: Application:				
Rohstoffbasis Base Material		Aluminiumsilikat Aluminum silicate					Bindungsart Type of bonding				
							mechanisch mechanically				
Chem. Analyse in	Al ₂ O ₃	TiO ₂	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	MgO	Cr ₂ O ₃	P ₂ O ₅	
Chem. Analysis	44,0		56,0								
Porosität (offen) Apparent Porosity		_____ %		Raumgewicht Bulk Density			0,128 t/m ³		Mat.-Bedarf: Mat. requ.:		
									_____ t/m ³		
Temp.-Wechselbest. (Anzahl der Abschreckungen) Thermal Shock Resistance (number of quenches)						in Wasser / in Water			an Luft / on Air		
						_____ x			_____ x		
Druckerweichung DE Refractoriness under load				t _{0,5} _____ °		Abriebfestigkeit: Abrasion Resistance:					
Druckfeuerbeständigkeit DFB Fire resistance under load				t ₀ _____ °		ASTM-Test C704					
	KDF Cold Crushing Strength	Biegezugfestigkeit Modulus of rupture		Wärmeleitfähigkeit Thermal Conductiv.		Eichende Längenänderung nach Erhitzen Perm. linear change after heating		Wärmedehn. revers. Dilatation rev.:			
	nach Erhitzen auf after Heating to	Module de rupture		Conductibilité thermique		Modification de la longueur (Irrev.)		Dilatation rev.:			
°C	N/mm ²	N/mm ²		W/m K		%		%			
400				0,10							
600				0,15							
800				0,20							
1000				0,27							
1100											
1200											
1260											
Handelsbezeichnung: PYROSTOP BLANKET 126/1260											
Trade name:											

Spec.-No. 5.12										
SK _____	Anwendungstemperatur Service Temperature _____ °C					Max. Anwendungstemperatur Max. Service Temperature 1100 °C				
Material-Typ Type of material	Isolierplatte 1100 insulating board 1100					Verarbeitung: Application:				
Rohstoffbasis Base Material	Kalzium-, Aluminumsilikat Calcium-, Aluminum silicate					Bindungsart Type of bonding				
Chem. Analyse in Chem. Analysis	Al ₂ O ₃	TiO ₂	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	MgO	Cr ₂ O ₃	P ₂ O ₅
	38,0		49,0	1,0			0,7			
Porosität (offen) Apparent Porosity _____ %	Raumgewicht Bulk Density			0,9 t/m ³		Mat.-Bedarf: Mat. requ.: _____ t/m ³				
Temp.-Wechselbest. (Anzahl der Abschreckungen) Thermal Shock Resistance (number of quenchings)						in Wasser / in Water		an Luft / on Air		
						_____ x		_____ x		
Druckerweichung DE Refractoriness under load		t _{0,5} _____ °			Abriebfestigkeit: Abrasion Resistance:					
Druckfeuerbeständigkeit DFB Fire resistance under load		t ₄ _____ °			ASTM-Test C704					
KDF Cold Crushing Strength	Biegezugfestigkeit Modulus of rupture		Wärmeleitfähigkeit Thermal Conductiv.		Bleibende Längenänderung nach Erhitzen Perm. linear change after heating		Wärmedilatin. revers dilatation rev.:			
nach Erhitzen auf after heating to	Modulus de rupture		Conductibilité thermique		Modification de la longueur (rev.)		Dilatation rev.:			
°C	N/mm ²		W/m K		%		%			
400			0,10							
600			0,11							
800			0,13							
1000										
1100										
1200										
1250										
Handelsbezeichnung: PYROSTOP.CARTO 110										
Trade name:										
Bemerkungen / Remarks:										

Spec.-No. 5.20											
SK _____	Anwendungstemperatur Service Temperature					Max. Anwendungstemperatur Max. Service Temperature					
		550 °C					540 °C				
Material-Typ Type of material	ROCKWOOL RTD-2, Aussenisolierung ROCKWOOL RTD-2, Outside insulation					Verarbeitung: Application:					
Rawstoffbasis Base Material	Mineralfaser Mineral fibre					Bindungsart Type of bonding					
		mechanisch mechanically									
Chem. Analyse in Chem. Analysis	Al ₂ O ₃	TiO ₂	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	MgO	Cr ₂ O ₃	P ₂ O ₅	
Porosität (offen) Apparent Porosity	%		Raumgewicht Bulk Density			0,12 t/m ³		Mat.-Bedarf Mat. requ.:		t/m ³	
Temp.-Wechselbest. (Anzahl der Abschreckungen) Thermal Shock Resistance (number of quenchings)						in Wasser / in Water		in Luft / on Air			
						x		x			
Druckverweichung DE Refractiness under load	k ₁₅		k ₁₅			Abriebfestigkeit Abrasion Resistance:					
Druckfeuerbeständigkeit DFB Fire resistance under load	k ₁₅		k ₁₅			ASTM-Test C704					
	CCF Crush Strength nach Erhitzen auf after Heating to		Bruchzeitfestigkeit Resilience of rupture résistance de rupture		Wärmeleit. Koeffizient Thermal Conductivity Conductivité thermique		Größtänderung Längereinstellung nach Erhitzen Form. change after heating Modification de la longueur (rev.)		Wärmedehnk. reversibel Distortion rev.		
	°C	N/mm ²	N/mm ²		W/m.K		%		%		
	50				0,041						
	100				0,047						
	150				0,054						
	200				0,064						
	250				0,075						
	300				0,088						
	400				0,117						
Handelsbezeichnung: ROCKWOOL RTD-2											
Trade name:											
Bemerkungen / Remarks:											

Spec.-No. 5.21										
SK _____	Anwendungstemperatur Service Temperature 1100 °C					Max. Anwendungstemperatur Max. Service Temperature 1200 °C				
Material-Typ Type of material	Superwool 607 Blanket, Aussenisolierung Superwool 607 Blanket, Outside insulation					Verarbeitung: Application:				
Rohstoffbasis Base Material	Keramikfasernatte Ceramic Fibre Blanket					Bindungsart Type of bonding				
mechanisch mechanically										
Chem. Analyse in Chem. Analysis	Al ₂ O ₃	TiO ₂	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	MgO	Cr ₂ O ₃	P ₂ O ₅
62-68										
26-32										
3-7										
Porosität (offen) Apparent Porosity _____ %	Raumgewicht Bulk Density 0,128 t/m ³				Mat.-Bedarf: Mat. requ.: _____ t/m ³					
Temp.-Wechselbest. (Anzahl der Abschreckungen) Thermal Shock Resistance (number of quenches)					in Wasser / in Water			an Luft / on Air		
_____ x					_____ x			_____ x		
Druckerweichung DE Refractoriness under load			t _{0,5} _____ °		Abriebfestigkeit: Abrasion Resistance:					
Druckfeuerbeständigkeit DFB Fire resistance under load			t ₀ _____ °		ASTM-Test C704					
KDF Cold Crushing Strength	Biegezugfestigkeit Modulus of rupture		Wärmeleitfähigkeit Thermal Conductiv.		Beibehende Längenänderung nach Erhitzen Perm. linear change after heating		Wärmelehn. revers dilatation rev.:			
nach Erhitzen auf after Heating to	Modulus de rupture		Conductibilité thermique		Modification de la longueur (rev.)		Dilatation rev.:			
°C	N/mm ²		W/m.K		%		%			
200			0,05							
400			0,09							
600			0,15							
800			0,22							
1000			0,29							
Handelszeichnung: SUPERWOOL 607 BLANKET										
Trade name:										
Bemerkungen / Remarks:										

Spec.-No. 6.01

SK _____ OC _____ CS _____	Anwendungstemperatur Service Temperature _____ °C		Max. Anwendungstemperatur Max. Service Temperature 1050 °C							
Material-Typ Type of material Type de matériau	Legierter Stahl 1.4845 Alloyed steel 1.4845		Verarbeitung: Application:	Schweißen welding						
Rohstoffbasis Base Material	Bindungsart Type of bonding									
Chem. Analyse in Chem. Analysis	Fe	Cr	Ni	C	Si	P	S			
		24-26	19-21	≤ 0,15	≤ 0,01	≤ 0,045	≤ 0,03			
Porosität (offen) Apparent Porosity _____ %	Raumgewicht Bulk Density 7,9 t/m ³		Mat.-Bedarf: Mat. requ.: _____ t/m ³							
Temp.-Wechselbest. (Anzahl der Abschreckungen) Thermal Shock Resistance (number of quenchings) Résistance aux chocs thermiques nombre de cycles	in Wasser / in Water dans l'eau		in Luft / on Air à l'air _____ *							
DE (Druckverweichung) Refractoriness under load Affaiblissement sous charge	t 0,5 _____ ° t 1,0 _____ ° t 2,0 _____ ° t 5,0 _____ °	Abriebfestigkeit: Abrasion Resistance: Résistance à l'abrasion: _____ ASTM-Test C704								
	Streckgrenze Yield stress	Zugfestigkeit Modulus of rupture	Wärmeleitfähigkeit Thermal Conductiv.	bleibende Längenänderung nach Erhitzen Perm. length change after heating	Wärmedehna. Revers. dilatation rev.: _____ %					
	°C	N/mm ²	N/mm ²	W/m K	%					
	20	210	500 - 700	15						
	200				1,55					
	400				1,70					
	500			19						
	600				1,75					
	800				1,85					
	1000				1,90					
Guss- und Stahlteile / Steel and Cast Parts / Pièces en fonte et en acier										
Werkstoff-Nr. Material-No.	1.4845 310 S									
Handelsbezeichnung: Trade name:										
Bemerkungen / Remarks / Remarques:										

TABLAS

1. TABLA 2.1 DEPENDENCIA DE TEMPERATURA Y VOLÚMENES ESPECÍFICOS PARA CRISTALES POLIMÓRFICOS. (FUENTE CATALOGO DE REFRACTARIOS EMPRESA RHI).
2. TABLA 2.2 CLASES DE ALUMINOSILICATOS (FUENTE CATALOGO DE REFRACTARIOS EMPRESA RHI).
3. TABLA 2.3 ANALISIS QUIMICO DEL LADRILLO REFRACTARIO MAXIAL 310M (SP 1.01) (FUENTE CATALOGO DE REFRACTARIOS EMPRESA RHI).
4. TABLA 2.4 ANALISIS QUIMICO DEL LADRILLO AISLANTE REFRACTARIO ASTM24 LEGRAL 26/7(M40)(SP2.02) (FUENTE CATALOGO DE REFRACTARIOS EMPRESA RHI).
5. TABLA 2.5 ANALISIS QUIMICO DEL LADRILLO AISLANTE REFRACTARIO PYROSTOP ISOL 450 (M40) SP 2.03 (FUENTE CATALOGO DE REFRACTARIOS EMPRESA RHI). (FUENTE CATALOGO DE REFRACTARIOS EMPRESA RHI).
6. TABLA 2.6 ANALISIS QUIMICO DEL CONCRETO REFRACTARIO C50 DIDURIT 168 0-5M (SP 3.01) (FUENTE CATALOGO DE REFRACTARIOS EMPRESA RHI).
7. TABLA 2.7 ANALISIS QUIMICO DE LA MEZCLA PLÁSTICA MIX DIPLAST 170 0-5M (SP.3.02) (FUENTE CATALOGO DE REFRACTARIOS EMPRESA RHI).

8. TABLA 2.8 ANALISIS QUIMICO DEL CONCRETO LIGERO PYROSET 23VLI (SP. 4.02) (FUENTE CATALOGO DE REFRACTARIOS EMPRESA RHI).
9. TABLA 2.9 ANALISIS QUIMICO DE LA MANTA DE FIBRA CERÁMICA (PYROSTOP BLANKET 128/1260 SP. 5.01) (FUENTE CATALOGO DE REFRACTARIOS EMPRESA RHI).
10. TABLA 2.10 ANALISIS QUIMICO DE LA MANTA DE FIBRA CERÁMICA BLANKET, BULK PYROFIBER 1260 SP. 5.11) (FUENTE CATALOGO DE REFRACTARIOS EMPRESA RHI).
11. TABLA 2.11 ANALISIS QUIMICO DE LA JUNTA AISLANTE (PYROSTOP CARTO 110 SP. 5.12) (FUENTE CATALOGO DE REFRACTARIOS EMPRESA RHI).
12. TABLA 2.12 ANALISIS QUIMICO DEL SUPERWOOL 607 BLANKET SP. 5.21 (FUENTE CATALOGO DE REFRACTARIOS EMPRESA RHI).
13. TABLA 2.13 SP. 6.01 ALLOYED STEEL 1.4845 (FUENTE CATALOGO DE REFRACTARIOS EMPRESA RHI).
14. TABLA 2.14 ANALISIS QUIMICO DEL ANCLAJE ALLOYED STEEL SP.6.02 (FUENTE CATALOGO DE REFRACTARIOS EMPRESA RHI).
15. TABLA 2.15 ANALISIS QUIMICO DEL MORTERO M40 (SP. 7.01 DIDOTEC 145V 0-0.5M) (FUENTE CATALOGO DE REFRACTARIOS EMPRESA RHI).
16. TABLA 2.16 ANALISIS QUIMICO DEL SUPER MORTERO M60F (SP.7.02 RESITEC 180KV 0- 0.5M + RESITECT HAERTER)
17. TABLA 2.17 FICHA TÉCNICA DE CASTABLE LEGRAL 26/7(FUENTE CATALOGO DE REFRACTARIOS EMPRESA RHI).

18. TABLA 2.18 FICHA TECNICA DEL LADRILLO AISLANTE PYROSTOP ISOL 450(FUENTE CATALOGO DE REFRACTARIOS EMPRESA RHI).
19. TABLA 3.1 LONGITUD MEDIA DEL HAZ "L" PARA VARIAS FORMAS DE VOLUMEN DE GAS (FUENTE LIBRO YUNUS TRANSFERENCIA DE CALOR SEGUNDA EDICION.pag. 645).
20. TABLA. 3.2 ANALISIS DEL ESPESOR DEL AISLANTE.
21. TABLA 3.3 COMPARACION DE LADRILLOS REFRACTARIOS.
22. TABLA 3.4 COMPARACION DE LOS LADRILLOS AISLANTES
23. TABLA 3.5 COMPOSICION DE ALCALIS DE LOS REFRACTARIOS
24. TABLA 3.6 VOLUMEN DEL LADRILLO REFRACTARIO A INSTALARSE EN EL AREA LATERAL Y TECHO.
25. TABLA 3.7 DIMENSIONES DE LOS LADRILLOS AISLANTES Y REFRACTARIOS
26. TABLA 3.8 DIMENSION DE LADRILLOS TIPO CUÑA
27. TABLA 3.9 DIMENSIONES DE LADRILLOS PARA EL TECHO
28. TABLA 3.10 TEMPERATURA ENTRE LOS REFRACTARIOS.
29. TABLA 3.11 SELECCIÓN DEL ESPESOR DEL AISLANTE
30. TABLA 3.12 RELACION DE HERRAMIENTAS
31. TABLA 4.1 COSTO DEL LADRILLO REFRACTARIO
32. TABLA 4.2 COSTO DE AISLANTE REFRACTARIO PRIMERA CAPA
33. TABLA 4.3 COSTO DE LADRILLO AISLANTE SEGUNDA CAPA
34. TABLA 4.4 COSTO DEL MORTERO
35. TABLA 4.5 COSTO DE FIBRA CERAMICA
36. TABLA 4.6 COSTO DE CONCRETO REFRACTARIO

37. TABLA 4.7 COTIZACION DE MANO DE OBRA Y MATERIALES
38. TABLA 4.8 AHORRO ANUAL DE COMBUSTIBLE
39. TABLA A.1 LADRILLOS REFRACTARIOS REPSA DE ALTA ALUMINA
40. TABLA A.2 VARIEDADES DE LADRILLOS REFRACTARIOS RHI SEGÚN COMPOSICION QUIMICA.

FIGURAS

1. Fig. 2.1 Detalle del proceso de obtención del Zinc
2. Fig. 2.2 Proceso de la Refinería de Zinc
3. Fig. 2.3 Diagramas de fase binarias esquemáticas entre SiO_2 y otros óxidos
4. Fig. 2.4 Distribución de temperatura y circuito térmico para el flujo a través de paredes compuestas
5. Fig. 2.5. Nomenclatura de una pared cilindro compuesto
6. Fig. 2.6 Máquina mezcladora de concreto refractario
7. Fig. 2.7 Regulación de agua para la preparación del concreto refractario
8. Fig. 2.8 Mezclas correctas de preparación de Concreto refractario
9. Fig. 2.9 Mezcladora manual
10. Fig. 3.1 Detalle donde realizara los análisis.
11. Fig. 3.2 Detalle de la vista mostrada en la Fig 3.3
12. Fig. 3.3 Radios correspondientes al cilindro superior del horno.
13. Fig. 3.4 Circuito térmico, dirección de la transferencia de calor.
14. Fig. 3.5 Detalle de la vista mostrada en la Fig. 3.6

15. Fig. 3.6 Radios correspondientes al cilindro inferior del horno.
16. Fig. 3.7 Circuito termico, direccion de la transferencia de calor.
17. Fig.3.8 Detalle de las áreas.
18. Fig. 3.9 Detalle de la vista mostrada en la fig.3.10
19. Fig. 3.10 Circuito termico y detalle de la pared plana.
20. Fig. 3.11 Emisividad de CO_2 Y H_2O .
21. Fig. 3.12 Factor de Correccion para emisividades de CO_2 Y H_2O .
22. Fig. 3.13 Correccion de Emisividad $\Delta\varepsilon$ de CO_2 y H_2O .
23. Fig. 3.14 Espesor de los materiales instalados.
24. Fig. 3.15 Temperaturas Internas, los valores se muestra en tabla 3.10
25. Fig. 3.16 Carga Distribuida en la superficie interna del horno.

PLANO

P.01: DETALLE DE DIMENCIONES DEL HORNO