

T
621.184
SOT



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción

"Readecuación de Caldera Acuotubular de 250.000 lb Vapor/Hora
Instalada en Ingenio Azucarero"



TESIS DE GRADO

Previo a la Obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentado por:

Douglas Xavier Sotomayor Marín

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año - 2005



AGRADECIMIENTO

A todas las personas que de uno u otro modo colaboraron en la realización de este trabajo, especialmente al Ing. Ignacio Wiesner, por su gestión como Director de Tesis, y a Mónica por su apoyo constante e incondicional.

DEDICATORIA

A DIOS

A MI PADRE

A MI MADRE

A MI HERMANO

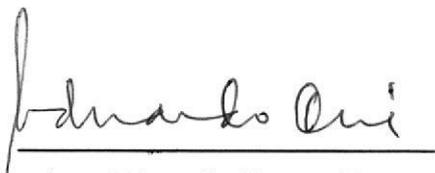
A TODA LA GENTE QUE ME

APOYÓ

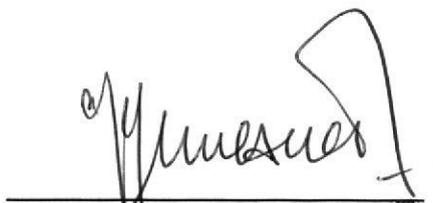


CIB-ESPOL

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



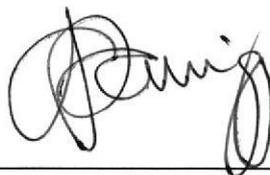
Ing. Eduardo Orces P.
DELEGADO POR EL DECANO
DE LA FIMCP
PRESIDENTE



Ing. Ignacio Wiesner F.
DIRECTOR DE TESIS



CIB-ESPOL



Dr. Alfredo Barriga R.
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'D. Sotomayor', is written over a solid horizontal line.

Douglas X. Sotomayor Marín

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo reducir el tiempo de paradas no programadas y mejorar la eficiencia de una caldera acuotubular con una capacidad de 250.000 Lb. vapor / hora, fabricada por Zurn Industries Inc. de tipo 2 domos y que opera con bagazo como combustible en el Ingenio Azucarero Valdez ubicado en la provincia del Guayas, cantón Milagro, a 40 Km. de la ciudad de Guayaquil.

Para lograr este objetivo se identifica los problemas que se han presentado durante la operación del caldero en la zafra pasada, en el año 2004, que incluyen fisuras continuas en la pared posterior de los tubos en la salida de los gases de combustión, las fugas en los sellos refractarios que permiten el paso de ceniza a la cámara muerta, el resquebrajamiento de los baffles deflectores de gases fabricados en concreto refractario, la caída del concreto refractario en diferentes zonas de la caldera y el aislamiento en mal estado en las zonas donde existían fugas de gases.

Cuando se recibió el caldero en este estado se manejaba un índice de producción de vapor con respecto al flujo masico de combustible (bagazo) de 1.34 Lb vapor / Lb bagazo, los gases a la salida del caldero ascendían a 650° F, la eficiencia total del caldero era 57 % y la cantidad de horas de parada de la caldera debido a mantenimientos correctivos eran del orden de 460 horas.

Se lleva a cabo la implementación del proyecto modificando la condición de la pared de tubos y el sistema de anclaje del concreto refractario CONCRAX 1700 marca ERECOS y se realizó el cambio de parte del aislamiento defectuoso con lana mineral.

El resultado de estas acciones fue que se logró reducir la frecuencia de las paradas no programadas a 60 horas, se mejoró el índice de producción de vapor a 1.5 lb. vapor / lb. bagazo y se mejoró la eficiencia total de la caldera a 62%.

El beneficio general estimado en el ingenio es el aumento de la producción un 2.1% que equivale a 67,772 sacos de azúcar de 110 Lb. por un monto de aproximadamente de US\$ 1'490.984, ó en su defecto pueden generar un excedente de energía eléctrica comerciable en el mercado eléctrico.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	II
INDICE GENERAL.....	IV
ABREVIATURAS.....	VII
INDICE DE FIGURAS.....	VIII
INDICE DE TABLAS.....	IX
INTRODUCCIÓN.....	1



CAPITULO 1

1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.1 Descripción de caldera acuatubular	3
1.2 Descripción de situación operativa de la caldera.....	5
1.3 Definición de índices de consumo de energía.....	8
1.4 Análisis de problemas existentes	13
1.4.1 Fugas de gases de combustión en pared posterior y fisuras de los tubos.....	14
1.4.2 Fugas en los sellos refractarios de la cámara muerta....	15
1.4.3 Resquebrajamiento de baffles desviadores de gases fabricados en concreto refractario.....	16
1.4.4 Caída de concreto refractario en paredes de la caldera..	17

1.4.5 Mal estado del aislamiento.....	19
1.5 Reportes de paradas no programadas y cuantificación de costos involucrados.....	19

CAPITULO 2

2. SOLUCIÓN AL PROBLEMA.....	22
2.1 Selección de procedimientos de solución.....	22
2.1.1 Cambio de pared de tubos posterior de la caldera.....	22
2.1.2 Implantación de nuevo diseño en el sello refractario de la cámara muerta.....	24
2.1.3 Implantación de nuevo diseño de anclaje para concreto refractario del baffle desviador de gases.....	26
2.1.4 Implantación de nuevo diseño de anclaje para concreto refractario en paredes de la caldera.....	27
2.1.5 Cambio de material aislante.....	27
2.2 Selección y calculo de materiales.....	28
2.2.1 Selección de tubos y aletas.....	28
2.2.2 Selección de juntas de dilatación.....	30
2.2.3 Selección de anclajes para baffle desviador de gases...	31
2.2.4 Selección de anclajes para paredes de caldera.....	33
2.2.5 Selección de material aislante.....	33
2.3 Cronograma para obra de montaje.....	38

2.4 Costo del proyecto.....	38
-----------------------------	----

CAPITULO 3

3. EVALUACIÓN DE CAMBIOS REALIZADOS.....	40
3.1 Establecimiento de índices antes de la ejecución del proyecto.	40
3.2 Establecimiento de índices después de la ejecución del Proyecto.....	45
3.3 Comparación y análisis de los resultados	46
3.4 Incidencia de los cambios realizados en los índices.....	47
3.5 Cuantificación de beneficios.....	49

CAPITULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	52
4.1 Conclusiones.....	52
4.2 Recomendaciones.....	53

APÉNDICES

BIBLIOGRAFÍA

ABREVIATURAS

BTU / Lb.	Unidad térmica británica por libra
° F	Grados Fahrenheit
ft²	Pies cuadrados
ft³ / min.	Pies cúbicos por minuto
hr.	Hora
HP	Caballos de fuerza
Ksi	Kilo libras por pulgada cuadrada
Lb.	Libra
Lb. Vapor / hora	Libra de vapor por hora
lb/in³	Libra por pulgada cúbica
lb/pie³	Libra por pie cúbico
Pulg.	Pulgada
Pulg. H₂O	Pulgada de agua
PSI	Libras por pulgada cuadrada
PSIG	Libras por pulgada cuadrada manométrica
R.P.M	Revoluciones por minuto
SQ. FT	Pies cuadrados
TON	Tonelada británica

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1 Caldera # 11.....	3
Figura 1.2 Descripción Operativa de la Caldera.....	7
Figura 1.3 Fuga de Gases en Pared posterior de tubos.....	15
Figura 1.4 Fuga de Gases a la Cámara Muerta.....	16
Figura 1.5 Baffles Desviadores de Gases.....	17
Figura 1.6 Anclaje de Refractario Inicial.....	18
Figura 2.1 Solución de Sellos en Banco de Tubos.....	24
Figura 2.2 Solución en Sello Cámara Muerta.....	25
Figura 2.3 Solución Anclaje Baffles.....	26
Figura 2.4 Solución Anclaje Paredes.....	27
Figura 2.5 Propiedades de Cordón de Fibra Cerámica.....	31
Figura 2.6 Conductividad Térmica de mantas Aislantes.....	35
Figura 2.7 Resultados Calculo de Transferencia de Calor en Paredes de Caldera.....	37
Figura 3.1 Mapa de Temperaturas Superficiales.....	43
Figura 3.2 Resultados Calculo de Transferencia de Calor en Paredes de Caldera.....	44



INDICE DE TABLAS

		Pág.
Tabla 1	Características del Caldero.....	5
Tabla 2	Condiciones de Operación.....	11
Tabla 3	Paradas no Programadas en la Caldera Zafra 119 Año 2004.....	20
Tabla 4	Especificaciones de acero A178 – A178/A178M-95..	29
Tabla 5	Propiedades Acero Inoxidable 304.....	30
Tabla 6	Concretos Refractario Silico – Aluminoso.....	32
Tabla 7	Concretos Refractario de alta Alumina.....	34
Tabla 8	Características Aislamiento.....	35
Tabla 9	Condiciones de Operación de la Caldera	36
Tabla 10	Condiciones de Operación Antes de Ejecución de los Trabajos de Readecuación.....	41
Tabla 11	Condiciones de Operación Después de Ejecución de los Trabajos de Readecuación.....	45
Tabla 12	Porcentajes de Incidencia en las Perdidas de Calor....	48
Tabla 13	Reducción de Paradas.....	50

INTRODUCCION

El Ingenio Valdez se dedica a la producción de azúcar y otros derivados para el consumo industrial y domestico. El Ingenio cuenta con un grupo de calderos para abastecer los consumos de vapor en la elaboración del azúcar, sin embargo en el presente caso este caldero recién instalado tiene una capacidad importante dentro de la demanda de energía en el ingenio representando el 50% de la capacidad instalada.

El objeto de este proyecto es el de seleccionar la mejor alternativa para mejorar las condiciones técnicas del funcionamiento y conseguir mejorar la eficiencia y la capacidad de producción de vapor por medio de modificaciones en la pared de tubos, sistemas de anclajes de concreto refractario y cambio por aislamiento más eficiente.

La meta de todos los Ingenios Azucareros es el de mejorar el rendimiento de la caña que procesan, es decir obtener la mayor cantidad de producto procesado (azúcar) por cada unidad masica de caña que se procesa.

De ahí que se pone énfasis en la producción final de sacos de azúcar de 110 Lb. al final de la zafra. El último record fue 2'805.363 sacos de azúcar y se molieron 1'483.478 TON de caña.

Si se mejora el rendimiento de las calderas se puede moler más caña y esto generaría mayores ingresos por ventas, además que como se tiene un equipo mas confiable no habría que incurrir en mantenimientos correctivos que ocurren durante la zafra generando paradas no programadas y aumentando los costos de producción.

CAPÍTULO 1

1. IDENTIFICACION DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de caldera acuatubular

La caldera en mención se encuentra instalada en las instalaciones de la Compañía Azucarera Valdez S.A. están ubicadas al occidente del Ecuador Continental, longitud $79^{\circ} 36' W$, latitud $02^{\circ} 09' S$ y en la región sur-oriental de la Provincia del Guayas, cantón Milagro, a 40 Kilómetros de la ciudad de Guayaquil.

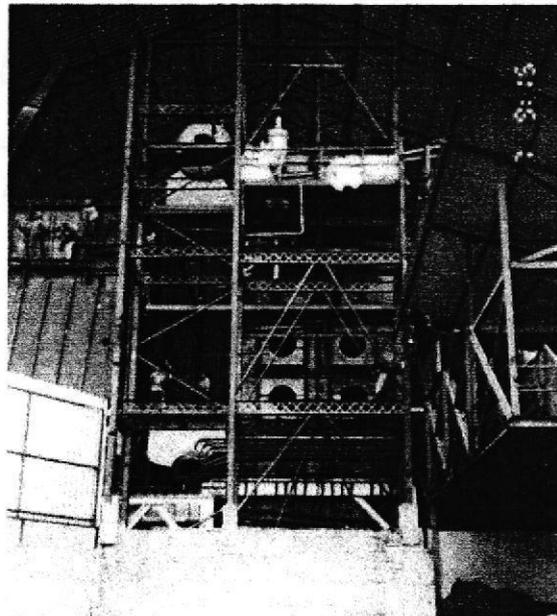


Figura 1.1 CALDERA N° 11

Actualmente el Ingenio cuenta con una capacidad instalada de generación de 858,400 lb. Vapor/hora que representan nueve calderos acuatubulares que funcionan con bagazo, como combustible principal. Sin embargo la capacidad instalada de consumo requiere únicamente alrededor de 440,000 lb. Vapor/hora.

De aquí que actualmente trabajan básicamente los calderos de mayor capacidad y eficiencia que describo a continuación:

1. Caldera # 9: Capacidad 120,000 lb. Vapor/hora
2. Caldera # 10: Capacidad 143,000 lb. Vapor/hora
3. Caldera # 11: Capacidad 250,000 lb. Vapor/hora

Los otros calderos están como equipos de relevo cuando existen problemas en los calderos antes mencionados.

Claramente se puede identificar que el caldero # 11 representa más de la mitad de la capacidad instalada y de ahí que radica la importancia que este opere correctamente.

En la tabla 1 se describen las características del caldero en mención.

TABLA 1
CARACTERÍSTICAS DEL CALDERO

Fabricante:	Zurn Industries Inc.
Tipo :	2 Domos
Superficie de transferencia de vapor :	25,298 SQ. FT
Combustible primario:	BAGAZO
Combustible secundario :	BUNKER
Generación :	250,000 Lb. Vapor / hora
Presión de diseño :	400 PSIG
Presión de trabajo :	300 PSIG
Exceso de aire	30 – 35%
Temperatura agua alimentación :	220° F
Temperatura gases salida horno :	1995° F
Temperatura gases salida caldera	634° F
Ventilador tiro Inducido temperatura de gases	420° F
Ventilador tiro inducido flujo	204000 ft ³ / min.
Ventilador tiro inducido RPM	900
Turbina	1200 HP ; 3600 RPM
Tiro Requerido Ventilador tiro inducido	22.7 pulg. H ₂ O
Ventilador tiro forzado flujo	98,000 ft ³ / min.
Ventilador tiro forzado temperatura de aire	80° F
Tiro Requerido Ventilador tiro forzado	+ 12 pulg. H ₂ O
Ventilador tiro forzado RPM	900
Turbina	200 HP, 3600 RPM
Eficiencia (%)	62.1

1.2 Descripción de situación operativa del caldero

Se trata de un caldero que opera con dos combustibles. El bunker sirve como combustible de arranque, es por eso que posee cuatro

quemadores de bunker. Una vez que se arranca la caldera se dispone a utilizar el bagazo, que no es más que el último residuo de la molienda de la caña, el cual ingresa por gravedad a la caldera por unos alimentadores y una vez en el hogar se dispersan con aire proveniente del ventilador de tiro forzado. Este aire no solo sirve para dispersar las partículas de bagazo en el hogar, más bien sirve para ayudar a la combustión del mismo provocando un exceso de aire. Una vez que se combustiona el bagazo los gases resultantes, por ser calientes y menos densos, se desplazan hacia arriba donde se encuentran con el primer bafle deflector de gases.

Los gases ascienden y siguen su camino hacia la salida del caldero donde primero se topan con el banco de tubos que proviene de los domos del sobrecalentador y luego descienden a través del banco de tubos evaporadores siendo modificada su trayectoria por otros dos baffles deflectores de gases hasta que salen del caldero.

Cada desviación en la trayectoria de los gases hace que estos atraviesen el banco de tubos evaporadores que se encuentran entre el domo inferior (húmedo) y el domo superior (vapor), y donde se aprovecha la energía que estos tienen para ser transferida por convección al agua antes de su salida de la caldera. Una vez que los

gases han salido de la caldera pasan por un filtro precipitador de partículas, luego por un lavador de gases y finalmente son succionados por un ventilador de tiro inducido que se encuentra antes de la salida de los gases hacia la chimenea. Una condición importante de operación es que dentro de la caldera debe existir una presión negativa para evitar fugas de los gases dentro del hogar y por todas las paredes de tubos.

Esto se logra balanceando los dos tiros: el inducido y el forzado. La ceniza del bagazo se precipita dentro del hogar sobre una parrilla móvil que se encarga de desalojarla al cenicero de la caldera.

Lo anteriormente descrito se ilustra en la figura No1.2.

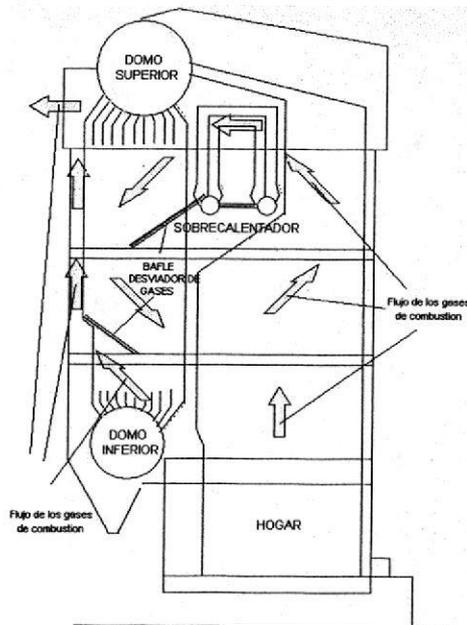


Figura 1.2 DESCRIPCION OPERATIVA DEL CALDERO

1.3 Definición de índices de consumo de energía

Para poder determinar el estado en que la caldera esta operando es necesario definir un parámetro ó índice que permita cuantificar el estado en el que se encuentra operando la caldera. Para este caso vamos a definir dos índices que nos indican el rendimiento de la caldera, uno es la cantidad de vapor generado por cada unidad másica de combustible (en este caso bagazo) y el otro índice es la eficiencia total del caldero.

Para el primer caso, la obtención del índice se obtiene por medio de un análisis del valor calorífico neto del bagazo y de todas las pérdidas que existen en el proceso la transferencia de la energía.

Debido a que los objetivos de esta tesis no incluyen analizar los modelos matemáticos que simulan estos procesos, tan solo vamos a citar las fórmulas y se describirán las variables que intervendrán en la operación:

- Valor calorífico neto (V.C.N)¹: La formula que se presenta a continuación describe el valor calorífico neto del bagazo húmedo por unidad de masa y toma en cuenta las pérdidas de calor por: el calor latente de vaporización del agua formada por la combustión del hidrógeno contenido en el bagazo, y el calor latente de vaporización del agua contenida en el bagazo.



$$V.C.N = 7650 - 8730 w$$

donde,

w = humedad del bagazo (agua % bagazo)

- Pérdidas de calor en la chimenea (q)²: Se define como la pérdida de calor debido al calor sensible arrastrado por los gases de combustión por unidad de masa del bagazo.

$$q = t (1 - w) (1.4m + 0.5/(1 - w) - 0.12)$$

donde,

t = temperatura de los gases finales ° F

w = humedad del bagazo en relación a la unidad

m = relación entre el peso del aire empleado para la combustión y el peso teórico necesario

- Cantidad de vapor que puede obtenerse (Mv)³: Se define como la cantidad de calor transmitido al vapor por unidad de masa de bagazo quemado. Esto define la cantidad de vapor que puede obtenerse después de considerar las siguientes pérdidas:

¹, ², ³ Las formulas han sido desarrolladas por E. Hugot en su libro "Manual para Ingenieros Azucareros" en el capitulo 39 "Producción de Vapor" paginas 623, 632 y 633

pérdidas en sólidos no quemados, pérdidas debidas a la mala combustión del carbono que da CO en lugar de CO₂, y a las pérdidas por radiación por las paredes de la caldera.

$$Mv = (7650 - 8730w - q) \alpha\beta\eta$$

donde,

w = humedad del bagazo en relación a la unidad

q = calor sensible de los gases finales

α = (sólidos no quemados), es del orden de 0.99

β = (radiación), varía entre 0.90 a 0.95, de acuerdo con el aislamiento más o menos eficiente de la caldera

η = (combustión mala), puede variar de 0.99 a 0.80 y depende directamente de: la baja humedad del bagazo, el poco exceso de aire y la elevada temperatura del horno

Para realizar el cálculo de nuestro índice utilizamos el valor promedio en la humedad del bagazo y se recolectaron valores promedio de operación de la caldera a lo largo de toda la zafra. Para el caso de los coeficientes α , β y η se asume valores acorde a las condiciones conocidas de operación. Estos parámetros se describen en la tabla 2:

TABLA 2
CONDICIONES DE OPERACIÓN

w (humedad relativa del bagazo)	0.5369
T (temperatura de los gases de salida)	634° F
m (relación de exceso de aire)	1.3
α (coeficiente de pérdida de calor debido a sólidos no quemados)	0.99
β (coeficiente de pérdida de calor debido a radiación)	0.95
η (coeficiente de pérdida de calor debido a mala combustión)	0.80
Entalpía del vapor sobrecalentado a 300 PSIG y 500° F	1256.7 BTU / lb.
Entalpía del agua de ingreso a 220° F	188.1 BTU / lb.

Reemplazando los datos en las formulas obtenemos lo siguiente:

$$V.C.N = 7650 - 8730 w = 7650 - 8730 * 0.5369 =$$

$$V.C.N = \mathbf{2962.8 BTU / lb.}$$

$$q = t (1 - w) (1.4m + 0.5 / (1 - w) - 0.12) =$$

$$q = (634 - 32) * (1 - 0.5369) * (1.4 * 1.3 + 0.5 / (1 - 0.5369) - 0.12) =$$

$$q = \mathbf{774.93 BTU / lb.}$$

$$Mv = (4250 - 4850w - q) \alpha \beta \eta =$$

$$Mv = (7650 - 8730 * 0.5369 - 774.93) * 0.99 * 0.95 * 0.80 =$$

$$Mv = \mathbf{1646.2 BTU / lb.}$$

Una vez definida la cantidad de calor que es capaz de transmitir una libra de bagazo se tiene que las condiciones del agua dentro de la caldera son las siguientes:

$$T \text{ entrada agua} = 220^{\circ} \text{ F}$$

$$T \text{ salida vapor} = 500^{\circ} \text{ F}$$

$$P \text{ salida vapor} = 300 \text{ PSIG}$$

De la tabla 2 se obtiene los valores de calor total de vapor sobrecalentado y el calor sensible del agua a esas condiciones, por lo que el diferencial de energía para llevar de un estado al otro sería:

$$1256.7 \text{ BTU / lb.} - 188.1 \text{ BTU / lb.} = \mathbf{1068.6 \text{ BTU / lb.}}$$

De aquí que se podría obtener la relación entre la cantidad de vapor que se puede obtener a partir de una cantidad de bagazo:

$$(1646.2 \text{ BTU / lb. bagazo}) / (1068.6 \text{ BTU / lb. vapor}) =$$

$$\mathbf{1.54 \text{ lb. Vapor / lb. Bagazo}}$$

Una variable que influye a este índice y que dependerá de las mejoras que se realicen en el caldero es el coeficiente de pérdida de calor debido a radiación (η) y la temperatura en los gases de salida.

Como se trataba de un caldero viejo no se contó con toda la información de detalle en el momento de su montaje, además que por decisión de la administración del ingenio se hizo modificaciones en el proceso de instalación para acoplar partes usadas con nuevas.

1.4.1 Fuga de gases de combustión en pared posterior y fisuras en los tubos

El banco posterior de tubos de la caldera donde se enfrentan los gases de combustión con los baffles de desviación está dispuesto de tal forma que los 109 tubos se instalaron tangencialmente para crear una pared donde no pasaran los gases directamente al filtro lavador de gases. Si embargo como se instalaron los mismos tubos de la caldera original no se pudo lograr una alineación perfecta entre ellos, además de que no se instaló un rigidizador, por lo que desde el inicio se presentaban fugas de gases a lo largo de la "luz" que existía entre algunos tubos desde el montaje inicial y además durante la operación las diferentes dilataciones térmicas que sufre la pared debido a que ambas caras del banco de tubos están sometidas a temperaturas diferentes hacían que los tubos se pandearan aumentando la "luz" y por lo tanto aumentando las fugas. Esto causaba dos problemas: el primero era el desgaste de los tubos en las zonas donde pasaban los gases y segundo la disminución de la eficiencia al existir paso de los

gases directamente al filtro lavador de gases. Lo descrito se ilustra en la figura 1.3:

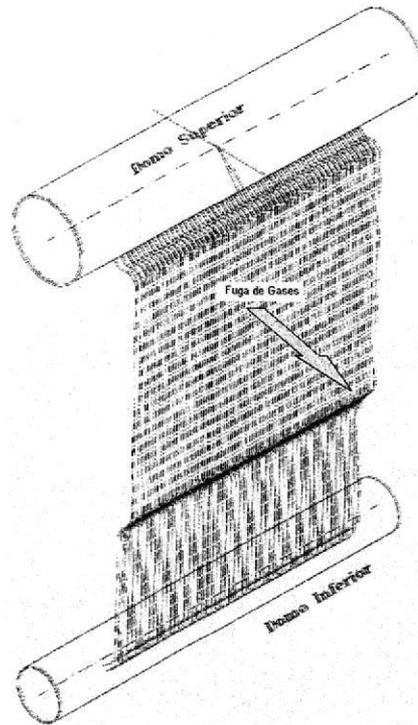


Figura 1.3 FUGA DE GASES EN PARED POSTERIOR DE TUBOS

1.4.2 Fuga en los sellos refractarios en la cámara muerta

En el techo de la caldera donde se encuentran las paredes laterales y frontales de tubos con la pared superior de tubos existe una recámara donde no deben pasar gases de combustión conocida como "cámara muerta". El problema que existe actualmente es que los sellos refractarios entre las paredes laterales y la pared superior se fabricaron a partir de concreto refractario, sin embargo al existir dilataciones térmicas en sentidos diferentes se fracturan dejando

El problema es que al dilatar la caldera estos se fisuran y se desprenden algunos pedazos del mismo. En la figura 1.5 se puede ver la situación descrita en ambos bafles.

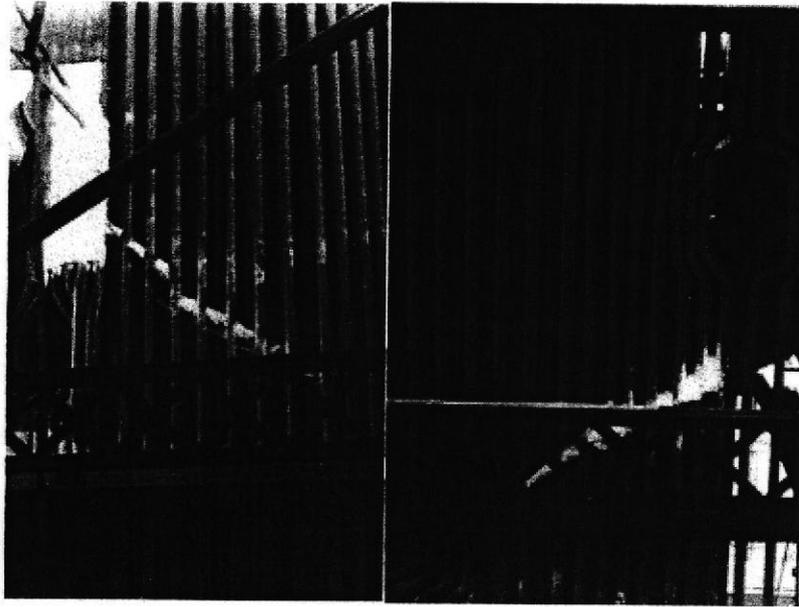


Figura 1.5 BAFLES DESVIADORES DE GASES

1.4.4 Caída de concreto refractario en paredes de la caldera

Al igual que el banco de tubos posterior de la caldera a la salida de gases todas las paredes de la caldera tienen la misma configuración: tubos alineados tangencialmente. Para poder sellar las paredes el diseño original de la caldera concebía la aplicación de una película de refractario sobre toda la pared de tubos.

El concreto refractario, como cualquier concreto, necesita “sujetarse” ó “fijarse” a algún tipo de anclaje para que no se desprenda, pero debido

a que se utilizaron los mismos tubos que vinieron con el caldero original no se podía “soldar” ningún tipo de anclaje sobre estos, entonces se utilizó otro sistema de anclaje que dependía de una malla que iba “amarrada” a los tubos y sobre la cual se aplicaba el concreto refractario.

El problema se presentó más tarde y fue que una vez en zafra algunos tubos comenzaron a fisurarse con lo que se tenía que parar la caldera, enfriarla con los tiros forzado e inducido, “parchar” ó cambiar el tubo figurado y volver a entrar en línea. Esta reparación arrojaba como inconvenientes el resquebrajamiento del refractario debido al cambio brusco de temperatura dentro del caldero y en consecuencia su desprendimiento originándose fugas en las paredes de tubos. En la figura 1.6 se ilustra la forma en la que inicialmente se intentó dar anclaje al refractario:

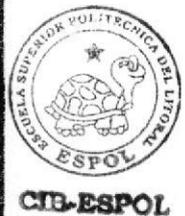
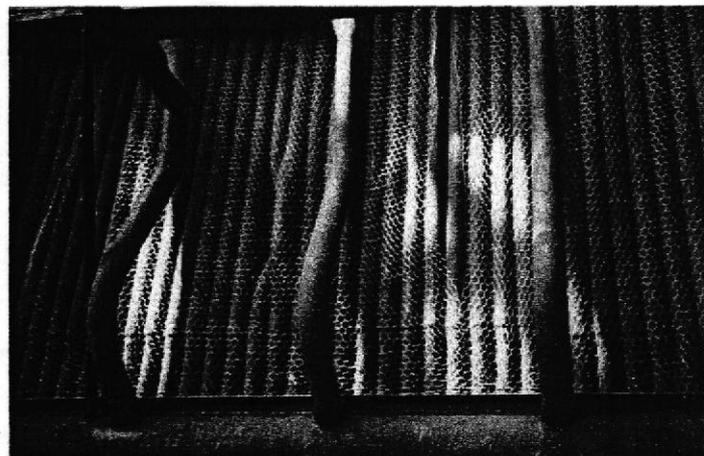


Figura 1.6 ANCLAJE DE REFRACTARIO INICIAL

1.4.5 Mal estado del aislamiento

Debido a las fugas de gases en todas las zonas donde se fisuraba el refractario, el aislamiento que se encontraba entre la capa de casing interior y el casing exterior se comenzaba a llenar de ceniza de bagazo llenando los espacios de aire entre la fibra de lana mineral y reduciendo la eficiencia del aislamiento.

1.5 Reporte de paradas no programadas y cuantificación de costos involucrados

El Ingenio tiene un periodo de cultivo de la caña que dura seis meses y otro periodo de procesamiento de la caña que dura los otros seis meses completando así el año.

Durante los seis meses de cultivo, denominado ínter zafra, se realizan todos los mantenimientos mecánicos preventivos incluyendo el de las calderas, considerándose este periodo como una parada programada, pero cuando la caldera esta operando, en el periodo denominado zafra, las paradas que existen en cualquier equipo se consideran no-programadas, representando costos de paradas primero por el tiempo que el equipo deja de funcionar y segundo por los gastos en que hay que incurrir para realizar la reparación del equipo. Durante el año pasado, entre los meses de junio y diciembre, el reporte de las paradas no programadas se describe en la tabla 3

TABLA 3
PARADAS NO PROGRAMADAS EN LA CALDERA ZAFRA 119 AÑO
2004

Mes	Numero de paradas	Duración de paradas (horas)
Junio	2	40
Julio	4	80
Agosto	3	60
Septiembre	3	60
Octubre	4	80
Noviembre	4	80
Diciembre	3	60
TOTAL	23	460

Las paradas descritas en la tabla anterior están relacionadas directamente con problemas de fisuras en los tubos. Las paradas debido a este problema eran las más críticas ya que no solo se incurre en un gasto para movilizar el mantenimiento correctivo, sino que el Ingenio caía en un déficit de generación de vapor, y aunque existen otras calderas para cubrir en un 80 % el consumo de vapor de la planta, se trata de calderas menos eficientes y que por lo tanto necesitan quemar mayor cantidad de bagazo para obtener la misma cantidad de vapor, además que se deja moler un 20% de caña lo que significa menor producción de azúcar.

El Ingenio Azucarero tiene una capacidad instalada de molienda de 9361 TON de caña diaria, es decir 390 TON de caña por hora.

Si tenemos que la relación entre la cantidad de azúcar que se obtiene de una tonelada de caña es de aproximadamente 0.11 TON, al sumar todas las horas de parada y con la reducción en la capacidad de molienda en un 20% se estaría dejando de moler 35,867 TON de caña durante la zafra.

Este valor representa el 2.1% de la capacidad teórica de la planta y representa 3731 TON de azúcar que equivalen a 67,772 sacos de azúcar de 110 Lb. Si tenemos que un saco de azúcar tiene un precio en el mercado de US\$ 22.00 se obtiene que el Ingenio Azucarero estaría dejando de vender US\$ 1'490.984.



CIB-ESPOL

CAPÍTULO 2

2. SOLUCIÓN AL PROBLEMA

2.1 Selección de procedimientos de

En vista de que el diagnóstico de cada problema tiene alternativas de solución diferentes es preciso analizar individualmente cada uno y describir el proceso para obtener la solución más viable en términos técnicos y económicos.

2.1.1 Cambio de Pared de Tubos Posterior de la Caldera

Se define que se deben cambiar una sección de 6 metros de tubos a lo largo de los 109 tubos que conforman la pared posterior de la caldera y además que se instalarían varillas que funcionarían como aletas entre los tubos para evitar el paso de los gases.

La solución consiste en desmontar los tramos de los tubos existentes que abarcan desde la "botella" que sale desde el domo superior de la caldera hasta la curva que se encuentra antes de un tramo de tubería que se conecta en el domo inferior.

Los materiales a utilizar son tubos de 2 ½" de espesor, tipo ASTM 178 A, espesor 0.150" Para unir los tubos se utilizara el proceso de soldadura TIG, donde el material de aporte será un electrodo tipo S70, mientras que el proceso para soldar la "membrana" con las varillas de acero inoxidable se define como MIG y se utiliza un electrodo tipo E45.

El trabajo se describe de la siguiente manera:

1. Desmontaje de 109 tubos con disco de corte en ambos extremos para evitar calentamiento en la zona de corte que altere la configuración intergranular del acero.
2. Fabricación de curvas para obtener la misma geometría de los tubos desmontados.
3. Preparación de zona donde se realizara la unión por soldadura, esto implica limpieza mecánica en la cara interna del tubo y el "biselado" en la parte externa del mismo.
4. Alineación y montaje de 109 tubos mediante el proceso de soldadura TIG.
5. Inspección de calidad de la soldadura mediante inspección visual y radiografías.
6. Llenado de agua dentro de los tubos de la caldera para poder proceder a soldar las varillas entre los tubos utilizando proceso de soldadura MIG.
7. Prueba hidrostática.

Lo descrito anteriormente se ilustra en la figura 2.1 :

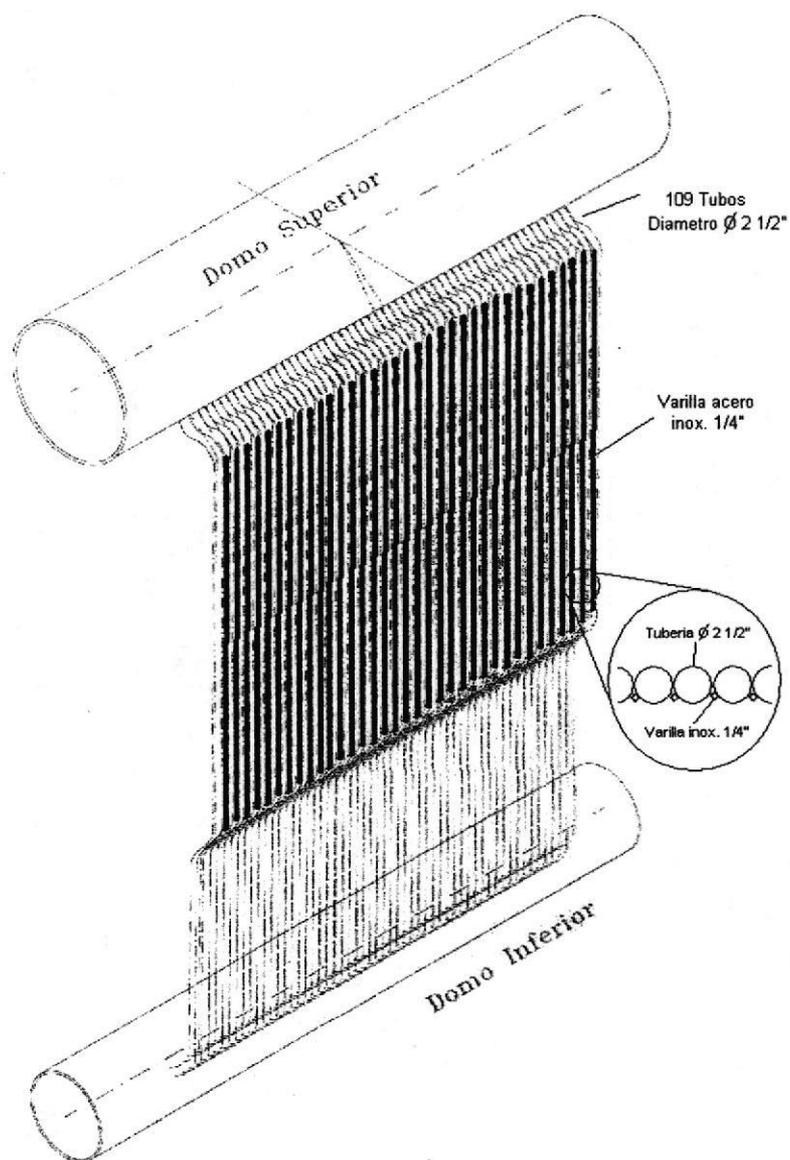


Figura 2.1 SOLUCION DE SELLO EN BANCO DE TUBOS

2.1.2 Implantación de nuevo diseño en el sello refractario de la cámara muerta

Se define desmontar lo que quedaba del sello refractario existente con lo que toca desmontar todas las paredes de la cámara muerta: primero

el recubrimiento metálico exterior, el aislamiento térmico (lana mineral), el recubrimiento metálico interior, otra capa de aislamiento térmico (en este caso perlita expandida), otro recubrimiento metálico y finalmente el recubrimiento metálico final, antes de la capa refractaria (Fig. 2.2). Una vez que se demuele todo el sello refractario se construye un "peine" metálico que irá soldado al recubrimiento metálico donde se instalará un cordón de fibra cerámica que servirá como junta de dilatación. Una vez hecho esto se colocan anclajes fabricados en varillas de acero inoxidable y se funde concreto refractario a lo largo del sello. Una vez fundido todo el concreto se procede a instalar todos los recubrimientos metálicos, así como las capas de aislamiento térmico.

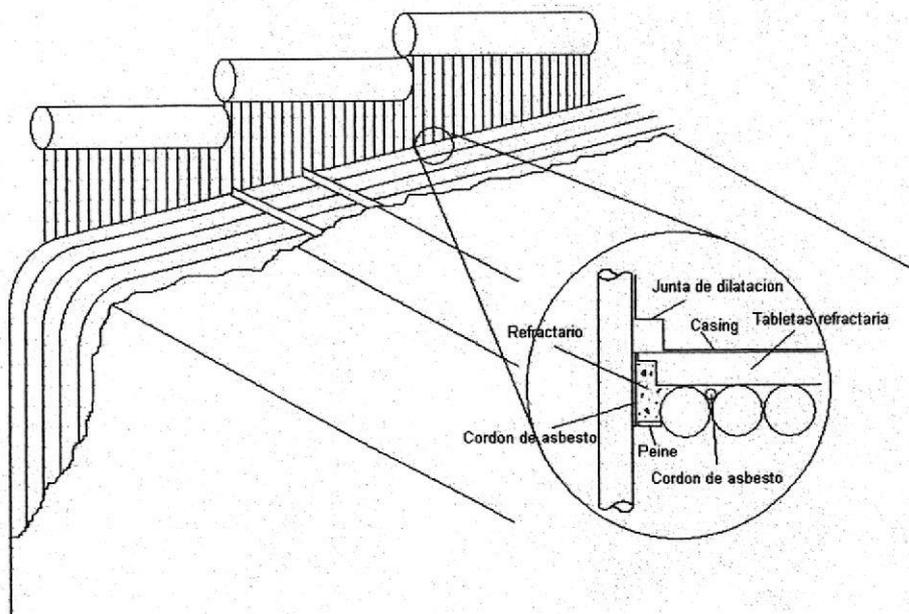


Figura 2.2 SOLUCION EN SELLO CAMARA MUERTA

2.1.3 Implantación de nuevo diseño de anclaje para concreto refractario en baffle desviador de gases

Se define demoler lo que quedaba del baffle existente y colocar unas camisas de abracen a los tubos de tal forma que cuando la caldera dilate no se rompa el refractario (Fig. 2.3) se construyó una malla en varilla de acero inoxidable 304 de $\frac{1}{4}$ " de diámetro que servirá de anclaje para la capa de concreto refractario.

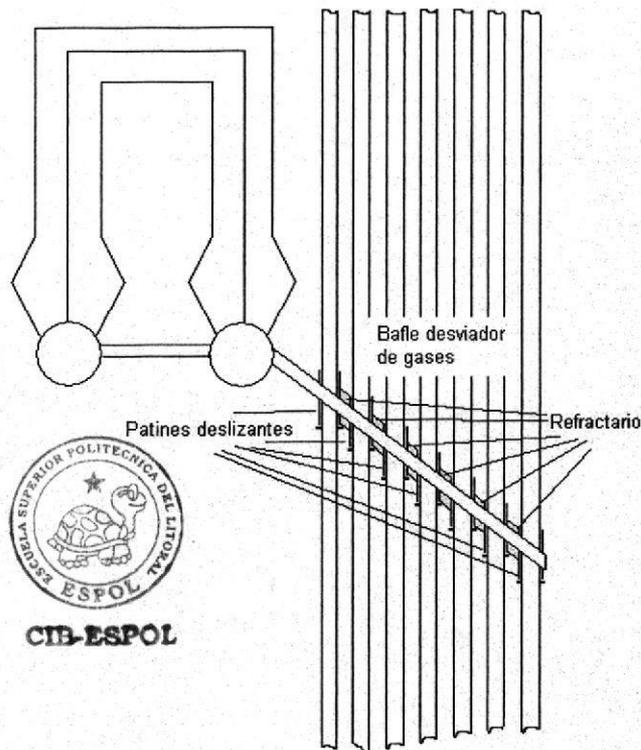


Figura 2.3 SOLUCION DE ANCLAJES EN BAFLES

2.1.4 Implantación de nuevo diseño de anclaje para concreto refractario en las paredes de la caldera

Se define en: primero desmontar el recubrimiento metálico exterior, el aislamiento térmico y el recubrimiento metálico interior, segundo

demoler lo que queda de la película refractaria, tercero soldar anclajes fabricados en varilla de acero inoxidable 304 de 1/8" de diámetro al nuevo recubrimiento interior que esta dispuesto 1" de la cara exterior de los tubos (Fig. 2.4) para formar un cajón, cuarto fundir concreto refractario entre los tubos y el recubrimiento metálico que en este caso hace de veces de formaleta, quinto instalar pinchos en alambre de acero galvanizado C-12 para anclar el aislamiento, y sexto volver a instalar la capa de aislamiento (lana mineral) y el recubrimiento metálico exterior.

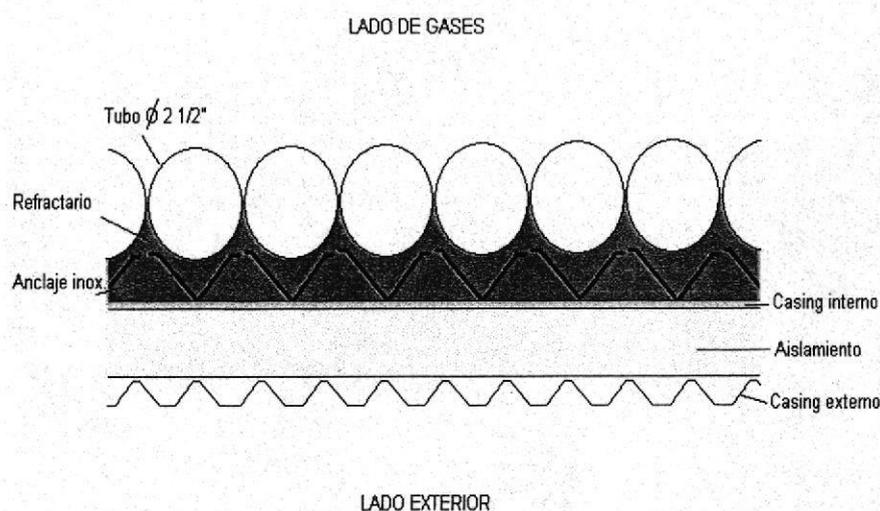


Figura 2.4 SOLUCION ANCLAJE PAREDES

2.1.5 Cambio de material aislante

Se define cambiar todo el aislamiento en las zonas donde existían fugas de gases, por lo que al desmontar las zonas donde se va a

cambiar el sello refractario se desmonta el aislamiento en mal estado y se instala el nuevo aislamiento.

2.2 Selección y cálculo de materiales

Una vez definido el procedimiento de solución ahora se dispone a cuantificar y definir la calidad de los materiales para llevar a cabo la reparación y readecuación.

2.2.1 Selección de tubos y aletas

El material de los tubos se define por la condiciones de trabajo. Primero tiene que soportar la temperatura de trabajo. Las temperaturas que se alcanzan dentro de la caldera fluctúan entre 2012° F y 662° F.

Hay que recordar que el tubo es refrigerado por el agua que esta dentro de él y no en todas las zonas del caldero hay vapor dentro del tubo, así que cuando el agua entra al caldero tiene una temperatura de 219° F y cuando se hace vapor tiene una temperatura de 500° F. Segundo tiene que soportar la presión de trabajo.

Aunque la presión dentro del caldero es baja, la presión de vapor dentro del tubo alcanza los 300 PSIG. Tercero tiene que resistir los esfuerzos producidos por las dilataciones térmicas y las presiones internas. De ahí que se selecciona el tubo de 2 ½" de diámetro tipo

ASTM 178 A cuyas propiedades se describen en la tabla No 4. La cantidad de tubos es igual a los 109 tubos desmontados.

TABLA 4

ESPECIFICACIONES DE ACERO AL CARBONO A178 - A178/A178M-95

Componente	Wt. %
C	Máx. 0.17
Mn	0.4 – 0.8
P	Máx. 0.04
S	Máx. 0.04
Si	0.1 - 0.35
Propiedades Mecánicas	
Punto mínimo de deformación	235 Mpa
Esfuerzo de tensión	360 – 480
Propiedades de proceso	
Temperatura de trabajo	986° F

Para seleccionar el material de las varillas que actúan como aletas para sellar el banco de tubos se tiene que tener en cuenta primero las condiciones de temperatura ya que en esta zona la temperatura de los gases fluctúan entre 932° F y 662° F, segundo las condiciones de resistencia a los esfuerzos ya que la varilla va a ir soldada a lo largo del tope tangencial los tubos. Por lo tanto se define utilizar una varilla en acero inoxidable grado 304, cuyas propiedades se describen en la tabla N°5.

TABLA 5
PROPIEDADES DE ACERO INOX. AISI 304

Componente	Wt. %
C (Carbón)	Máx. 0.08
Cr (Cromo)	18 - 20
Fe (Hierro)	64.995 - 74
Mn (Manganeso)	Máx. 2
N (Nitrógeno)	Máx. 0.1
Ni (Niquel)	08-dic
P (Fósforo)	Máx. 0.045
S (Azufre)	Máx. 0.03
Si (Silicio)	Máx. 0.75
Propiedades Físicas	
Densidad	0.29 lb/in ³
Propiedades Mecánicas	
Dureza, Rockwell B	82
Esfuerzo ultimo a Tensión	90100 psi
Esfuerzo a la deformación (0.2% YS)	42100 psi
Elongación a la ruptura (en 2 pulg.)	55 %
Modulo de elasticidad (tensión)	28000 ksi
Modulo de elasticidad (torsión)	11300 ksi
Propiedades Térmicas	
CTE, linear 20°C (0 to 100°C)	9.39 μ in/pulg-°F
CTE, linear 20°C	10.4 μ in/pulg-°F
Capacidad calorífica	0.12 BTU/lb-°F
Conductividad Térmica	112 BTU-pulg/hr-ft ² -°F
Conductividad Térmica	149 BTU-pulg/hr-ft ² -°F
Propiedades de proceso	
Temperatura de fusión	2550 - 2650 °F

2.2.2 Selección de juntas de dilatación

El material de las juntas de dilatación que absorben la expansión y contracción de los tubos debido al diferencial de temperatura no tiene que ser rígido y debe soportar las temperaturas de operación dentro de la caldera. Debido a estas condiciones de trabajo se define utilizar cordón de fibra cerámica, cuyas propiedades se describen en la Figura 2.5.

Análisis Químico Típico

Al ₂ O ₃	30.0%
SiO ₂	50.0%
ZrO ₂	16.0%
Otros	1.0%

Propiedades Físicas Típicas

Color	Bianca
Límite de uso continuo*	1400°C
Punto de fusión	1760°C
Diámetro de fibra	2.5 a 3.5 micrones
Calor Específico a 1100°C	1.130 J/kg.K
Densidad	2.7 g/cm ³

Conductividades térmicas vs. temperatura media (ASTM - C - 177)**

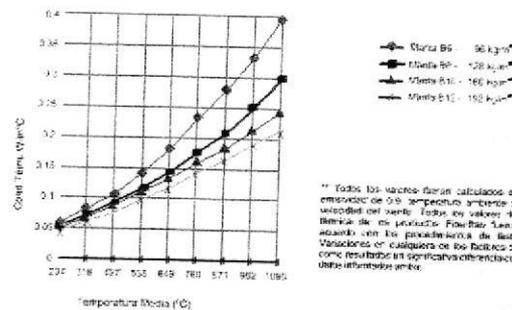


Figura 2.5 PROPIEDADES DE CORDON DE FIBRA CERAMICA

2.2.3 Selección de anclajes para el baffle desviador de gases

El material que servirá de anclaje para el baffle desviador de gases fundido en concreto refractario tiene que resistir la temperatura de trabajo (entre 932° F y 662° F) y además debe disponerse de tal forma que al dilatarse no fracture el refractario que está embebido en él. El material a utilizar como anclaje se define como varilla de 1/8" de diámetro de acero inoxidable grado 304. Además el material del cual se construirá el baffle desviador de gases debe ser un concreto refractario que soporte temperaturas entre 1472° C y 932° F. El material seleccionado corresponde a un concreto refractario silico-aluminoso cuyas propiedades se describen en la tabla N° 6.

TABLA 6
CONCRETOS REFRACTARIOS SILICO ALUMINOS CONCRAX 1500

Clasificación	Clase D
NTC - 814 , ASTM C - 401	
Análisis Químico %	
Al ₂ O ₃	49.5
SiO ₂	39.0
Fe ₂ O ₃	1.3
TiO ₂	2.0
CaO	7.5
MgO	0.3
Álcalis	0.4
Cono Pirométrico Equivalente	
(PCE)	32
Temperatura equivalente °C	1717
NTC - 706 , ASTM C-24	
Máxima temperatura de servicio	
recomendada °C	1540
Máximo tamaño de grano mm	5
Material seco requerido	
por metro cúbico kg	2000 - 2100
Agua de preparación	
cm ³ de agua/kg de material seco	120 - 135
NTC - 988 , ASTM C - 860	110 2.00 - 2.10
Densidad volumétrica °C - g/cm ³	1000 1.80 - 1.85
ASTM C - 134	1260 1.85 - 1.90
	1370 1.85 - 1.90
	1480 1.95 - 2.00
Módulo de ruptura en frío	110 5.0 - 8.0 (50 - 80)
°C - Mpa (kg/cm ²)	1000 1.5 - 2.5 (15 - 25)
NTC - 988 , ASTM C-133	1260 4.0 - 6.0 (40 - 60)
	1370 12.0 - 14.0 (120 - 140)
	1480 14.0 - 15.0 (140 - 150)
Resistencia a la compresión	110 25.0 - 40.0 (250 - 400)
en frío °C - Mpa (kg/cm ²)	1000 9.0 - 11.0 (90 - 110)
NTC - 682 , ASTM C - 133	1260 13.0 - 15.0 (130 - 150)
	1370 29.0 - 31.0 (290 - 310)
	1480 50.0 - 54.0 (500 - 540)
Cambio lineal permanente °C - %	1000 0.0 - 0.3C
NTC - 988 , ASTM C - 401 y ASTM C - 865	1260 0.2C - 0.5C
	1370 0.3C - 0.6C
	1480 1.0C - 1.5C
Presentación Sacos de 25 kg	

2.2.4 Selección de anclajes para paredes de caldera

El material que servirá de anclaje para la película de concreto refractario tiene que resistir la temperatura de trabajo (entre 1832° F y 932° F) y además debe disponerse de tal forma que al dilatarse no fracture el refractario que está embebido en él. El material a utilizar como anclaje se define como varilla de 1/8" de diámetro de acero inoxidable grado 304. Además el material del cual se construirá la película que sella las paredes de la caldera debe ser un concreto refractario que soporte temperaturas entre 2552° F y 932° F. En las zonas donde la temperatura fluctúa entre los 2912° F y los 2552° F se utilizarán un concreto refractario de alta alúmina cuyas propiedades se describen en la tabla No 7. En las zonas donde la temperatura fluctúa entre los 2552° F y los 932° F se utilizará un concreto refractario de silico-aluminoso cuyas propiedades se describen en la tabla No 6.

2.2.5 Selección de aislamiento térmico

El material que servirá de aislamiento térmico tendrá que resistir una temperatura de trabajo de 500° F. El material aislante del diseño original es la lana mineral de mantas de 3" de espesor y 9 lb./pie³ de densidad. Sin embargo actualmente se maneja una presentación diferente del producto, con menor densidad pero mayor cohesión entre las fibras ya que no necesita malla hexagonal para "sostenerse" sino que en este producto la fibra de lana mineral es mas largo, por lo tanto

no se desmorona debido a la vibración. Las características de este material se describen en la tabla N. 8.

TABLA 7
CONCRETOS REFRACTARIOS DE ALTA ALUMINA
CONCRAX 1700

Clasificación	Clase C
NTC - 814 , ASTM C - 401	
Análisis Químico %	
Al ₂ O ₃	86,0
SiO ₂	4,0
Fe ₂ O ₃	1,6
TiO ₂	3,1
CaO	4,7
MgO	0,3
Álcalis	0,3
Cono Pirométrico Equivalente (PCE)	
	>37
Temperatura equivalente °C	
	> 1820
NTC - 706 , ASTM C-24	
Máxima temperatura de servicio recomendada °C	
	1650
Máximo tamaño de grano mm	
	5
Material seco requerido	
Por metro cúbico kg	2500 - 2600
Agua de preparación	
Cm ³ de agua/kg de material seco	95 - 105
NTC - 988 , ASTM C - 860	110 2.50 - 2.60
Densidad volumétrica °C - g/cm ³	1000 2.35 - 2.45
ASTM C - 134	1480 2.70 - 2.80
	1600 2.85 - 2.95
Módulo de ruptura en frío	
°C - Mpa (kg/cm ²)	110 6.0 - 9.0 (60 - 90)
	1000 3 - 5 (30 - 50)
NTC - 988 , ASTM C-133	1480 25.0 - 30.0 (250 - 300)
	1600 50.0 - 60.0 (500 - 600)
Resistencia a la compresión	
en frío °C - Mpa (kg/cm ²)	110 25.0 - 45.0 (250 - 450)
	1000 20.0 - 30.0 (200 - 300)
NTC - 682 , ASTM C - 133	1600 140.0 - 160.0 (1400 - 1600)
Cambio lineal permanente °C - %	
	1000 0.0 - 0.2C
NTC - 988 , ASTM C - 401 y ASTM C - 865	1480 3.0C - 4.0C
	1600 4.0C - 6.0C
Presentación Sacos de 25 kg	



CIB-ESPOL

TABLA 8
CARACTERISTICAS DE AISLAMIENTO

Densidad	4.5 Lb. / pie 3
Temperatura de trabajo	Hasta 1200° F en régimen continuo
Conductividad térmica	.47 Btu pulgada / pie ² hora °F a 400 °F de temperatura media

MANTAS AISLANTES

Mineral wool blanket type insulation

Gráfico de conductividad térmica

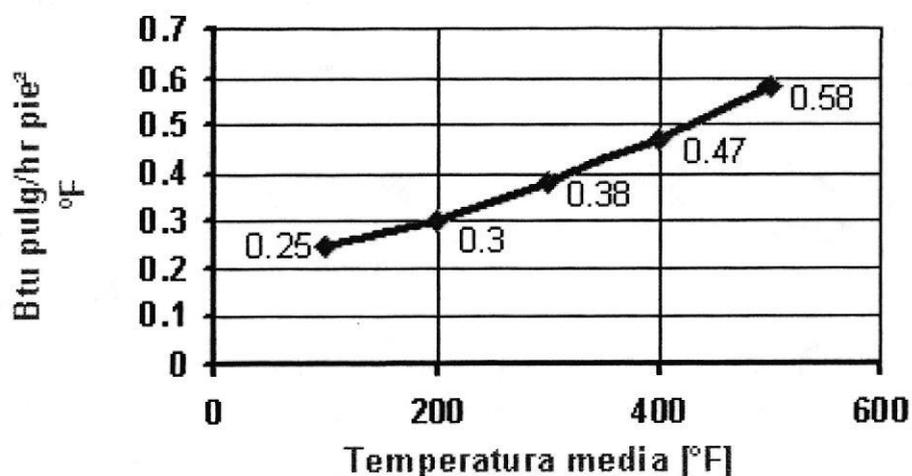


Figura 2.6 CONDUCTIVIDAD TERMICA DE MANTAS AISLANTES

Para determinar el espesor del nuevo aislamiento se evalúa bajo las condiciones de operación de la caldera que se describe en la siguiente tabla:

TABLA 9
CONDICIONES DE OPERACIÓN DE LA CALDERA

Temperatura cara Interna	500° F
Temperatura Superficial requerida	130° F
Material Aislante	LANA MINERAL
Densidad	4.5 Lb / pie 3
Conductividad Térmica (@ 200° C)	0.38 BTU pulg / hr sf °F
Velocidad del viento	0 Millas/hora
Emisividad superficie emisora de calor (acero común)	0.8
Emisividad superficie emisora de calor (acero galvanizado)	0.26

Para realizar el cálculo del espesor del aislamiento se utiliza la fórmula de transferencia de calor lineal debido, como se define a continuación:

$$q = \Delta T / k' / L$$

donde,

q = flujo de calor

ΔT = diferencial de temperatura

k' = coeficiente de transferencia de calor debido a conducción, convección y radiación

L = espesor de aislamiento

Despejando la formula obtenemos que el espesor del aislamiento se obtiene de la siguiente formula:

$$L = q * k' / \Delta T$$

Debido a que no es objetivo de esta tesis analizar el cálculo del coeficiente de transferencia de calor conductivo, convectivo, y por radiación se utilizó como herramienta de cálculo un programa de

transferencia de calor, 3E Plus versión 3.1¹, donde se calcula el espesor del aislamiento de acuerdo con los datos de operación y al tipo de material aislante.

¹ Programa de Transferencia de calor desarrollado por NAIMA (North American Insulation Manufacturers Association), www.naima.org

El criterio de diseño se define, por un lado, a partir del criterio económico para obtener una eficiencia del aislamiento mayor a 95% y, por otro lado, del criterio de seguridad industrial ya que según NAIMA la temperatura superficial límite para seguridad industrial debe ser igual o menor a 140° F. Como resultado obtenemos que para este tipo de aislamiento se necesita un espesor de 3" para lograr una temperatura superficial de 130° F (Figura 2.7).

3E Plus 3.1 - Thickness and Surface Temperature Report

File

Surface Temperature Using 1 Insulation Material

Insulation Thickness	Surface Temp (°F)	Heat Loss Btu/hr/sf	Efficiency (%)
Bare	499	1545	
0,5	254	262,9	83,04
1,0	193	153,4	90,10
1,5	165	108,3	93,01
2,0	148	83,75	94,63
2,5	137	68,30	95,60
3,0	129	57,67	96,31
3,5	123	49,91	96,83
4,0	119	44,00	97,15
4,5	115	39,35	97,48
5,0	112	35,59	97,73
5,5	109	32,48	97,93
6,0	107	29,88	98,12
6,5	105	27,66	98,25
7,0	103	25,75	98,38
7,5	102	24,09	98,45
8,0	100	22,63	98,58
8,5	99,2	21,34	98,64
9,0	98,2	20,18	98,71
9,5	97,2	19,15	98,77
10,0	96,3	18,22	98,83

Parameters:
 Emissivity Steel Vertical Flat Surface: 0,22
 Bare Surface Emissivity: 0,22
 Process Temperature: 500°F
 Average Ambient Temperature: 75°F
 Average Wind Speed: 0,0 mph
 Outer Jacket Type is: 0,22 Galvanized steel, dipped or dull
 Outer Surface Emissivity is: 0,22
 Insulation Material is: 1000F M F BOARD ASTM C612-00a T3

Thickness required to keep the surface temperature below 130°F is 3,0 inches.

Continue



Figura 2.7 RESULTADOS CALCULO TRANSFERENCIA DE CALOR EN PAREDES DE CALDERA

2.3 Cronograma para Obra de Montaje

Una vez definidos los materiales y procedimientos para realizar las reparaciones y adecuaciones en la caldera se debe elaborar un cronograma de trabajo en donde se define el periodo de ejecución de cada actividad para contabilizar el tiempo que se tomaría en realizar cada una de ellas y así poder establecer: primero el tiempo de duración de todo el proyecto y segundo la cantidad y calidad del personal que se necesitaría para poder cubrir con la ejecución del mismo.

El cronograma se lo describe en el apéndice A donde se define que le proyecto se realizaría durante 12 semanas utilizando un grupo de trabajo de hasta 33 personas en la semana crítica. La selección del personal se evaluó de acuerdo a los diferentes rendimientos que existen para las diferentes tareas definidas

2.4 Costo del proyecto

En el momento en que se cuenta con las cantidades de materiales y las cantidades de horas-hombre se puede multiplicar por los precios unitarios de cada de estos rubros y definir así el costo total del proyecto. La descripción de todo el proyecto se encuentra en el apéndice B donde se detallan las especificaciones técnicas de cada

parte del proyecto, las cantidades de materiales y los costos de materiales y mano de obra. El proyecto de la readecuación de la caldera 11 del Ingenio Valdez asciende a \$ 97,991.21 y durante la ejecución de los trabajos surgió otro proyecto adicional que ascendió a \$ 16,284.63, obteniendo un proyecto global del orden de \$ 114,275.84.



CTB-ESPOL

CAPÍTULO 3

3. EVALUACIÓN DE CAMBIOS REALIZADOS

3.1 Establecimiento de Índices Antes de la Ejecución del Proyecto

Si analizamos detenidamente las variables que determinan la cantidad de vapor generado por cada unidad másica de combustible y comparamos con los cambios y adecuaciones que se realizaron al caldero nos topamos que variables como: humedad, relación entre el peso del aire empleado para la combustión y el peso teórico necesario, coeficiente de sólidos no quemados y coeficiente de mala combustión, no dependen de los trabajos realizados en este proyecto, tan solo la temperatura de los gases de salida y el coeficiente de radiación son variables que se ven afectadas por los cambios realizados en la caldera.

La temperatura de gases que se obtenía antes de los trabajos era de 650° F y se la obtiene de la lectura de una termocupla a la salida de la caldera. Con este valor podemos volver a calcular las pérdidas de

calor en la chimenea (q) utilizando la formula presentada en el capitulo 1.3:

$$q = (630 - 32) * (1 - 0.5369) * (1.4 * 1.3 + 0.5 / (1 - 0.5369) - 0.12) =$$

$$q = \mathbf{769.79 \text{ BTU / lb.}}$$

Una vez que tenemos las pérdidas de calor en la chimenea se puede calcular la cantidad de vapor que puede obtenerse (Mv) utilizando la formula presentada en el capitulo 1.3:

$$Mv = (7650 - 8730 * 0.5369 - 769.79) * 0.9 * 0.93 * 0.80 =$$

$$Mv = \mathbf{1468.48 \text{ BTU / lb.}}$$

Al igual que en capitulo 1 se vuelve a calcular el diferencial de energía para llevar el agua de ingreso en la caldera al vapor sobrecalentado bajo las condiciones descritas en la tabla No. 9

TABLA 10

CONDICIONES DE OPERACIÓN ANTES DE LA EJECUCION DE LOS TRABAJOS DE READECUACION

W (humedad relativa del bagazo)	0.5369
T (temperatura de los gases de salida)	630° F
m (relación de exceso de aire)	1.3
α (coeficiente de pérdida de calor debido a sólidos no quemados)	0.9
β (coeficiente de pérdida de calor debido a radiación)	0.93
η (coeficiente de pérdida de calor debido a mala combustión)	0.80
Calor total del vapor sobrecalentado a 300 PSIG y 500° F	1256.7 BTU / lb.
Calor sensible del agua de ingreso a 220° F	188.1 BTU / lb.

$$1256.7 \text{ BTU / lb.} - 188.1 \text{ BTU / lb.} = \mathbf{1068.6 \text{ BTU / lb.}}$$

De aquí que se obtiene la relación entre la cantidad de vapor que se puede obtener a partir de un cantidad de bagazo :

$$(1468.48 \text{ BTU / lb. bagazo}) / (1068.6 \text{ BTU / lb. vapor}) =$$

$$\mathbf{1.37 \text{ lb. vapor / lb. bagazo}}$$

El coeficiente de pérdida de calor debido a sólidos no quemados lo defino como 0.9, debido a las fugas de bagazo por las fisuras en los sellos refractarios en las paredes de la caldera.

El coeficiente de radiación se lo obtiene de acuerdo a las mediciones de temperatura superficial en varios puntos de la caldera determinando así diferentes eficiencias del aislamiento.

La eficiencia del aislamiento se la obtiene de la relación entre el flujo de calor que se pierde por la cara aislada y el flujo de calor que se perdería estando las superficies "desnudas", es decir sin aislamiento.

El resultado de este coeficiente se define como el valor medio entre todas las mediciones. Para ilustrar la metodología, figura No. 3.1 podemos ver que antes de cambiar el aislamiento en ciertas zonas



donde los gases habían lo quemado y llenado de ceniza se tenía temperaturas superficiales que variaban entre 84° F y 140° F.

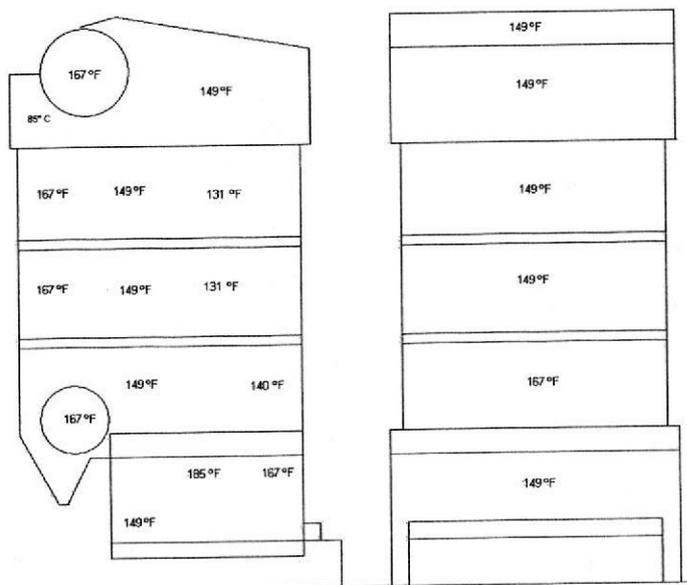


Figura 3.1 MAPA DE TEMPERATURAS SUPERFICIALES

Estas lecturas de temperatura se obtenían en alrededor de un 40 % de la superficie de la caldera. Con estas condiciones se puede calcular el flujo de calor que se estaría perdiendo al ambiente.

Para realizar el cálculo del flujo de calor se utiliza la fórmula de transferencia de calor lineal debido, como se define a continuación:

$$q = \Delta T / k'/L$$

donde,

q = flujo de calor

ΔT = diferencial de temperatura

k' = coeficiente de transferencia de calor debido a conducción, convección y radiación

L = espesor de aislamiento

Si analizamos los resultados del cálculo del espesor óptimo, tanto en términos de seguridad industrial como en términos económicos, de aislamiento que se obtuvieron con el programa de transferencia de calor 3E Plus Versión 3.2, figura No. 3.2 podemos ver que cuando se tiene temperaturas superficiales entre 140° F y 167° F se obtiene una eficiencia de aislamiento de 93.01 % mientras que con temperaturas superficiales de 131° F se obtiene una eficiencia del 96.31 %. Sacando la media ponderada entre estos valores se obtiene que la eficiencia promedio es :

$$93.01 \times 0.4 + 96.31 \times 0.6 = 94.98 \%$$

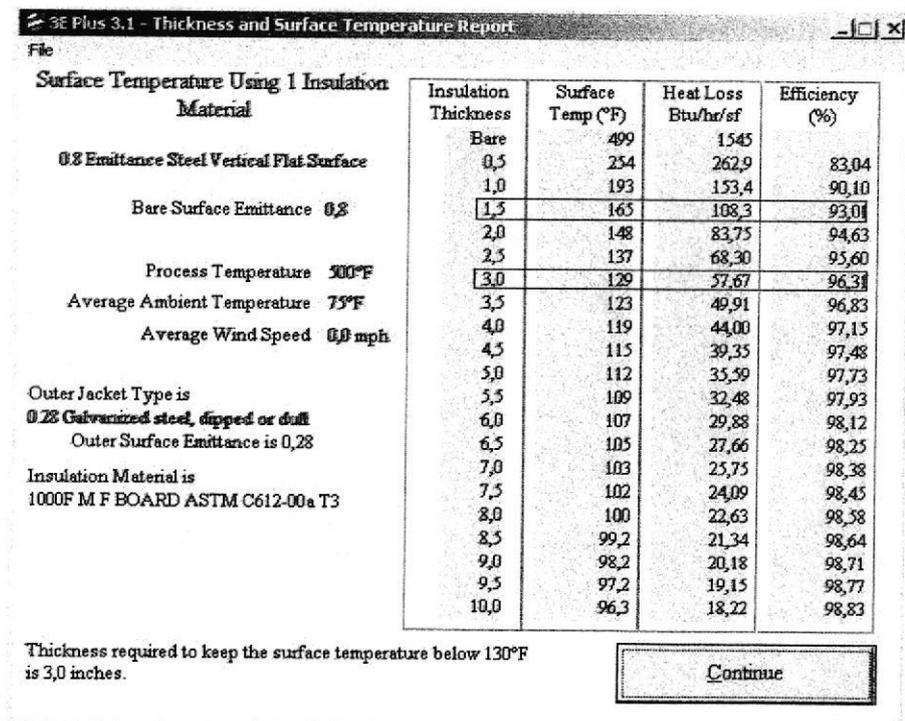


Figura 3.2 RESULTADOS DE CALCULO DE TRANSFERENCIA DE CALOR EN LAS PAREDES DE LA CALDERA

La obtención de la eficiencia total se obtiene entre la relación entre las calorías transferidas al vapor y el valor calorífico superior del bagazo.

$$\rho = 1468.48 / 2580 = 57\%$$

3.2 Establecimiento de índices después de la ejecución del proyecto

Luego de cerca de mes de operación de la caldera se obtiene que las lecturas de la temperatura de los gases de salida de la caldera durante operación estable fluctúa entre 610° F y 630° F, con lo que reemplazando los datos de la tabla No. 9 en las fórmulas respectivas se obtendría:

$$q = (620 - 32) * (1 - 0.5369) * (1.4 * 1.3 + 0.5 / (1 - 0.5369) - 0.12) =$$

$$q = 756.91 \text{ BTU / lb.}$$

$$Mv = (7650 - 8730 * 0.5369 - 756.91) * 0.9 * 0.96 * 0.80 =$$

$$Mv = 1609.45 \text{ BTU / lb.}$$

TABLA 11

CONDICIONES DE OPERACIÓN DESPUES DE LA EJECUCION DE LOS TRABAJOS DE READECUACION

w (humedad relativa del bagazo)	0.5369
T (temperatura de los gases de salida)	620° F
m (relación de exceso de aire)	1.3
α (coeficiente de pérdida de calor debido a sólidos no quemados)	0.95
β (coeficiente de pérdida de calor debido a radiación)	0.96
η (coeficiente de pérdida de calor debido a mala combustión)	0.80
Calor total del vapor sobrecalentado a 300 PSIG y 500° F	1256.7 BTU / lb.
Calor sensible del agua de ingreso a 220° F	188.1 BTU / lb.

$$1256.7 \text{ BTU / lb.} - 188.1 \text{ BTU / lb.} = \mathbf{1068.6 \text{ BTU / lb.}}$$

De aquí que se obtiene la relación entre la cantidad de vapor que se puede obtener a partir de un cantidad de bagazo:

$$(1609.45 \text{ BTU / lb. bagazo}) / (1068.6 \text{ BTU / lb. vapor}) =$$

$$\mathbf{1.5 \text{ lb. vapor / lb. bagazo}}$$



El coeficiente de pérdida de calor debido a sólidos no quemados lo defino como 0.95, debido a la disminución fugas de bagazo ya que se ha sellado gran parte de las fisuras en los sellos refractarios en las paredes de la caldera.

El coeficiente de pérdida de calor debido a la radiación se lo define como 0.96 debido a que toda la superficie de la caldera tiene aislamiento en buen estado, operando a la eficiencia que se muestra en la figura N°. 3.2, anteriormente descrita.

La obtención de la eficiencia total se obtiene entre la relación entre las calorías transferidas al vapor y el valor calorífico superior del bagazo.

$$\rho = 1609.45 / 2580 = \mathbf{62 \%}$$

3.3 Comparación y análisis de los resultados

Se puede notar que existe una mejora en los índices luego de ejecutar todas las adecuaciones en el caldero ya que al no existir fuga de

gases desde el primer bafle desviador hacia el ducto de salida se logra la permanencia de estos en el caldero, logrando así el paso completo de los gases entre el banco de tubos evaporadores y la transferencia de energía de los mismos al agua. Con esto se disminuye la temperatura de los gases de salida de la caldera de 650° F a 620° F.

Además sellando las paredes de la caldera se logra evitar el escape de material combustible logrando así la combustión casi total del bagazo que ingresa al caldero mejorando el coeficiente de pérdida de calor debido a sólidos no quemados ya que su valor aumenta de 0.9 a 0.95.

Finalmente el cambio de aislamiento en parte de la superficie de la caldera disminuye las pérdidas de calor por la superficie de la misma mejorando el coeficiente de pérdida de calor debido a la radiación ya que su valor aumenta de 0.93 a 0.96.

3.4 Incidencia de los cambios realizados a los índices

Podemos observar que la eficiencia total de la caldera mejoró en un 5% y la cantidad de vapor que se puede generar a partir de una unidad másica de bagazo se incrementó de 1.37 a 1.5 Lb. Vapor / Lb. Bagazo.

El proyecto incidió directamente en tres variables:

1. Temperatura de salida de gases de la caldera
2. Coeficiente de pérdida de calor debido a sólidos no quemados
3. Coeficiente de pérdida de calor debido a la radiación

Dentro de las información técnica del caldero se define el porcentaje de las perdidas teóricas de energía y se dividen en las siguientes partes descritas en la tabla N°. 11:

TABLA 12.
PORCENTAJES DE INCIDENCIA EN LAS PERDIDAS DE CALOR

Perdida de calor debido a humedad en los gases de escape	7.73 %
Perdida de calor debido a H ₂ y H ₂ O en el combustible	24.42 %
Perdida de calor debido a elementos en suspensión en el aire	0.19 %
Perdida de calor debido a sólidos no quemados	3.7 %
Pérdida de calor debido a la radiación	0.36 %
Perdida de calor debido a MFRS. MARG.	1.5 %
TOTAL DE PERDIDAS DE CALOR	37.9 %



CTB-ESPOL

Estamos hablando que si sumamos los tres porcentajes que hemos modificado en las adecuaciones en la caldera tenemos 11.79%. El porcentaje de incidencia que cada uno de ellos con respecto a este valor se lo describe de la siguiente manera :

<i>Perdida de calor debido a humedad en los gases de escape</i>	= 65.5 %
<i>Perdida de calor debido a sólidos no quemados</i>	= 31.4 %
<i>Pérdida de calor debido a la radiación</i>	= 3.1%
TOTAL	= 100 %

Estamos hablando que del 5% de mejoramiento en la eficiencia cerca de un 65% se debe al aprovechamiento de la energía que todavía poseen los gases durante su salida de la caldera, mientras que el 35% restante se debe al mejoramiento de los coeficientes ya que estos no se trataban de problemas críticos de la operación de la caldera.

Los otros elementos se mantienen constantes ya que la calidad del aire es la misma, la humedad del bagazo es casi constante.

3.5 Cuantificación de los beneficios

Los beneficios resultados de los cambios que se realizaron en la caldera se definen de la siguiente manera:

1. Mejor aprovechamiento de la energía del combustible, ya que si se sabe que el contenido promedio de fibra en la caña (f) es 12.8% y el contenido promedio de fibra en el bagazo (F) es de 42.7% se tiene que cada 100 partes de caña se obtiene la siguiente cantidad de bagazo:

$$=100 * (f / F) = 100 * (12.8 / 42.7) = 29.9 \%$$

entonces de una tonelada de caña de azúcar donde antes se obtenía 342.5 Kg. de vapor vivo, ahora se obtiene 375 Kg. de vapor vivo. Este excedente puede servir para aumentar la producción en un 2.1% (tal como se lo define en el capítulo 1) ó generar vapor para un turbo-compresor y así coogenerar energía eléctrica para el propio Ingenio Azucarero e inclusive para vender energía.

2. Ahorro en paradas no programadas debido a la estabilidad del proceso de generación de vapor, ya que en lo que va de esta zafra se ha logrado reducir la frecuencia (como se describe en la tabla 12) de las paradas :

TABLA 13
REDUCCIÓN DE PARADAS

Mes	Numero de paradas	Duración de paradas (horas)
Junio	1	20
Julio	1	20
Agosto	1	20
Septiembre		
Octubre		
Noviembre		
Diciembre		
TOTAL	3	60



Si se define que el costo de la Hora-Hombre haciendo una subcontratación externa puede ser del orden de USD \$ 4.00 y la

reparación de un tubo incluye como mínimo dos personas, entonces tendríamos que una parada de 20 horas costaría aproximadamente USD \$ 160.00. Comparando con los tres primeros meses de la zafra pasada, 9 paradas no programadas, se obtiene que la diferencia con respecto a la zafra actual son 6 paradas que equivalen a USD \$ 960.00.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones



Finalmente llegamos a las siguientes conclusiones:

- Los cambios realizados en el caldero lograron el objetivo inicial del proyecto que era de lograr incrementar el rendimiento en la operación de generación de vapor del caldero acercándonos a los rendimientos iniciales del caldero cuando este era nuevo. Antes la mayor capacidad de generación del caldero era del orden de 225 lb. vapor / hora, ahora el caldero puede generar en su pico más alto de producción 240,000 lb. vapor / hora.
- Los beneficios económicos obtenidos son el incremento en la capacidad de producción de vapor en un 2.1% traducidos a volumen de producción significativo (alrededor de 67,772 sacos de azúcar de 50 KG que representa aproximadamente USD \$ 1'490.984 en ventas adicionales)

- Las condiciones bajo las cuales fue adquirido el caldero debido a la poca información de ingeniería de detalle hace que el caldero tenga mucho potencial de orígenes de falla, lo cual se refleja en los problemas que en definitiva son de diseño.

Recomendaciones

Dentro de las recomendaciones que puedo hacer cito las siguientes:

- La adquisición de un caldero nuevo y de mayor capacidad teniendo presente que la generación de energía eléctrica en base a la quema de bagazo es un negocio rentable.
- Hacer una readecuación de otras partes críticas de la caldera y que no fueron consideradas en la presente reparación.

BIBLIOGRAFÍA

1. E. HUGOT, Manual para Ingenieros Azucareros, Publ. By Cia. Editorial Continental S.A. de C.V., México, séptima edición, 1984.
2. SONNTAG & VAN WYLEN, Introducción a la Termodinámica Clásica y Estadística, Publ. By Editorial Limusa S.A. de C.V. Grupo Noriega Editores, Novena Impresión, México, 1996.
3. HARBINSON-WALKER REFRACTORIES, División of Dresser Industries, Inc, Handbook of Refractory Practice, Segunda Edicion, 1980, Pittsburg, Pennsylvania
4. FRANK KREITH, Principios de Transferencia de Calor, Publ. Por Herrero Hermanos Sucesores, S.A. México, Primera edición en español, 1970
5. CARL D. SHIELD, Calderas Tipos, Características y sus Funciones, Publ. Por Cia. Editorial Continental, S.A. de C.V. México, Décima impresión, 1982



CTB-ESPOL

**APENDICE A: CRONOGRAMA DE READECUACIÓN DE
CALDERA INGENIO VALDEZ**

DESCRIPCION	H-H	Sem.	Pers.	sem 1	sem 2	sem 3	sem 4	sem 5	sem 6	sem 7	sem 8	sem 9	sem 10	sem 11	sem 12
SELLO DE LA CAMARA MUERTA	1.499,89														
desmontaje paredes y techo	299,98	1	5,0			5									
instalacion refractaria	299,98	1	5,0			5									
instalacion refractaria	449,97	2	3,7							5	5				
montaje paredes y techo	449,97	2	3,7							5	5				
FUGA DE PATINES	222,50														
desmontaje	66,75	1	1,1										0,7		
reparacion	89,00	1	1,5										0,7		
montaje	66,75	1	1,1										0,6		
REPARACION DE BAFLES, DESVIACION DE GASES	1.296,25														
desmolicion refractaria	518,50	3	2,9			3	3	3							
instalacion refractaria	777,75	3	4,3			4	4	4							
REPARACION DE REFRACTARIO DOMO SUPERIOR	207,50														
desmolicion refractaria	83,00	1	1,4									1			
instalacion refractaria	124,50	1	2,1									2			
REPARACION REFRACTARIO CABEZAL DEL SUPERHEATER	1.185,00														
desmolicion refractaria	474,00	2	4,0										4	4	
instalacion refractaria	711,00	2	5,9										6	6	
REPARACION REFRACTARIO HOGAR, PAREDES LATERALES Y FRONTALES	333,75														
desmolicion refractaria	133,50	2	1,1				1	1							
instalacion refractaria	200,25	2	1,7				2	2							
REPARACION REFRACTARIO EN PAREDES LATERALES POR TUBOS CONVECTIVOS	733,26														
desmolicion refractaria	293,30	1	4,9						5						
instalacion refractaria	439,96	2	3,7										4	4	
0. REPARACION DE CASING EN PAREDES LATERALES Y DOMOS	108,89														
desmontaje	32,67	1	0,5												1
montaje	76,22	1	1,3												1
1. REPARACION DE REFRACTARIO EN SELLO POSTERIOR DE PARRILLA	167,50														
desmolicion refractaria	67,00	1	1,1												1
instalacion refractaria	100,50	1	1,7												2
2. CAMBIO DE 109 TUBOS EVAPORADORES ALETEADOS	3.027,75														
refabricacion	454,16	2	3,8					4	4						
desmontaje	756,94	3	4,2					4	4	4					
cambio de tubo	1.211,10	3	6,7							7	7				
instalacion de varilla	605,55	2	5,0									5	5		
3. CAMBIO DE 10 TUBOS EVAPORADORES DE LA PARED	437,03														
refabricacion	65,55	1	1,1												
desmontaje	152,96	1	2,5												
cambio de tubo	218,51	1	3,6												
4. TURBINAR SUPER HEATER Y CAMBIO DE 30 TUBOS	1.778,35														
refabricacion	266,75	2	2,2							2	2				
desmontaje	444,59	2	3,7							4	4				
cambio de tubo	889,18	2	7,4									7	7		
limpieza de colector Super Heater	177,84	1	3,0						3						
5. FABRICACION DE CURVAS Y PEGA A TUBO RECTO (109 TUBOS EVAPORADORES)	1.365,00														
refabricacion	546,00	2	4,6	5	5										
pega tubo recto	819,00	3	4,6	5	5	5									
6. FABRICACION DE CURVAS Y PEGA A TUBO RECTO (30 TUBOS SUPERHEATER)	1.050,00														
refabricacion	420,00	2	3,5	4	4										
pega tubo recto	630,00	3	3,5	4	4	4									
Total	13.412,66			18	18	26	17	21	19	17	24	33	21	18	-

H - Semana				1134	1134	1651	1088	1319	1185	1062	1521	2056	1297	1143	0
Numero de DIA - Semana				7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Horas por Dia				9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9

Total horas obra 14.590

CONTRATO ADICIONAL	DESCRIPCION	H-H	Sem.					sem 6	sem 7	sem 8	sem 9	sem 10	sem 11	sem 12
	AREDES LATERALES ZONA DOSOLLINADORES	554,07												
	montaje e Instalación	456,28	2	3,8				4	4					
	paración refractario	0,00	1	0,0					6					
	nolición	97,79	1	1,6			2							
	AREDES LATERALES ZONA PATINES	0,00												
	montaje e Instalación	0,00	1	0,0			2	2						
	paración refractario	0,00	1	0,0			3							
	nolición	46,67	1	0,8			1							
	CAMBIO DE TUBO DE HOGAR	148,15								1				
	montaje	29,63	1	0,5							1			
	paración de tubo	44,44	1	0,7							1			
	alación	74,07	1	1,2										
	Total	702,22			-	-	-	8	6	6	5	2	-	-

								0	0	0	504	378	378	315	126	0	0	0	0
	- Semana							7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
	Numero de DIA - Semana							9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
	Horas por Día																		
	Total horas obra	1.701						18	18	26	25	27	25	22	26	33	21	18	-



APÉNDICE B: COSTOS DE PROYECTO DE READecuACIÓN



Líderes en Soluciones Industriales

C# 04-263

Guayaquil, Marzo 01 del 2005

Av. J. T. Marengo Km. 2½ - Guayaquil

Tlf.: 662900; Fax: 235776

E-mail: lallave@impsat.net.ec

http://www.la-llave.com

SRES.

INGENIO VALDEZ

ATT : ING. ITALO MENDOZA

REF : REPARACION MECANICA Y REFRACTARIA DE CALDERA 11

De nuestras consideraciones :

A continuación presentamos nuestra propuesta al trabajo en referencia después de la inspección realizada de acuerdo a las siguientes especificaciones técnicas, cantidades, precios y condiciones generales.

ESPECIFICACIONES TECNICAS

Luego de la comenzar con los trabajos contratados en el caldero encontramos que existen otras zonas deterioradas que no fueron tomadas en cuenta en la oferta anterior, por lo tanto en esta propuesta incluimos los nuevos trabajos a realizar.

1. PAREDES LATERALES ZONA DESHOLLINADORES

Se procederá a desmontar el casing exterior, aislamiento, casing interior y el refractario que se encuentre en malas condiciones. Se limpiará la superficie de los tubos y se instalarán anclajes sobre el nuevo casing de la caldera para fundir una capa de concreto refractario CONCRAX 1500. Una vez reparado se volverá a instalar el aislamiento y el casing exterior.

Nota : Las cantidades de materiales que intervienen en la reparación dependerán de la magnitud del daño. En esta ocasión se está tomando el peor de los casos sin embargo al final se liquidará lo realmente trabajado.

2. PAREDES LATERALES ZONA PATINES

Se procederá a desmontar el casing exterior, aislamiento, casing interior y el refractario que se encuentre en malas condiciones. Se limpiará la superficie de los tubos y se instalarán anclajes sobre el nuevo casing de la caldera para fundir una capa de concreto refractario CONCRAX 1700. Una vez reparado se volverá a instalar el aislamiento y el casing exterior.

Nota : Las cantidades de materiales que intervienen en la reparación dependerán de la magnitud del daño. En esta ocasión se está tomando el peor de los casos sin embargo al final se liquidará lo realmente trabajado.

3. CAMBIO DE TUBO DE HOGAR

Se desmontará el tubo "quemado", se fabricarán las curvas y se instalará el tubo nuevo por partes. Se utilizará proceso de soldadura TIG para hacer las pegas del tubo, y se utilizará el proceso de soldadura MIG para soldar la aleta en la pared posterior del hogar.

4. SUMINISTRO DE AISLAMIENTO

Durante el desmontaje de aislamiento se ha encontrado que algunas mantas de lana mineral se están desmoronando y otras que están impregnadas de bagacillo, por lo tanto se propone suministrar aislamiento nuevo para cambiar el aislamiento en mal estado.

Nota : Se está suministrando la cantidad de mantas de lana mineral que cubran 66 m2 aproximadamente de 3" de espesor.

CANTIDADES Y PRECIOS

1. PAREDES LATERALES ZONA DESHOLLINADORES

Descripción	Unidad	MATERIALES			INSTALACION		
		Cantidad	Precio Unit.	Total	Cantidad	Precio Unit.	Total
Materiales La Llave :							
CONCRAX 1500	KG	5500	0,89	4.895,00			
			SUMA	4.895,00			
			DESC. 18%	881,10			
			TOTAL	4.013,90			
Materiales :							
Oxígeno	Carga	5					
Gas	Carga	2					
Angulo doblado en frio 1" x 1/8"	6ML	6		207,11			
Varilla inox 1/4"	3ML	3					
Soldadura inox	KG	1					
Transporte, fungibles							305,16
Instalación :							
Desmontaje e Instalación	M2				44	41,48	1.825,12
Reparación refractario	M2				44	32,59	1.433,96
Demolición	M2				44	8,89	391,16
			MATERIALES	4.221,01		INSTALACION	3.955,40

8.176,41

2. PAREDES LATERALES ZONA PATINES

MATERIALES	INSTALACION
------------	-------------



Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Total	Cantidad	Precio Unit.	Total
Materiales La Llave :							
CONCRAX 1700	KG	3450	1,35	4.657,50			
			SUMA	4.657,50			
			DESC. 18%	838,35			
			TOTAL	3.819,15			
Materiales :							
Oxígeno	Carga	4					
Gas	Carga	1		118,22			
Angulo doblado en frío 1" x 1/8"	6ML	3					
Varilla inox 1/4"	3ML	1					
Soldadura inox	KG	0,5					
Transporte, fungibles							147,34
Desmontaje e Instalación	M2				21	41,48	871,08
Reparación refractario	M2				21	32,59	684,39
Demolición	M2				21	8,89	186,69
			MATERIALES	3.937,37		INSTALACION	1.889,50

5.826,87

3. CAMBIO DE TUBO DE HOGAR

Descripción	Unidad	MATERIALES			INSTALACION		
		Cantidad	Precio Unit.	Total	Cantidad	Precio Unit.	Total
Materiales La Llave :							
CONCRAX 1700	KG	150	1,35	202,50			
			SUMA	202,50			
			DESC. 18%	36,45			
			TOTAL	166,05			
Materiales :							
Molde	UN	1		266,67			
Transporte, fungibles							82,95
Instalación :							
Desmontaje e Instalacion	Global				1	592,59	592,59
			MATERIALES	432,72		INSTALACION	675,54

1.108,26

4. SUMINISTRO DE AISLAMIENTO

Descripción	Unidad	MATERIALES			INSTALACION		
		Cantidad	Precio Unit.	Total	Cantidad	Precio Unit.	Total
Materiales La Llave :							
Lana Mineral 600 x 1000 x 1 1/2"	Manta	230	6,22	1.430,60			
			SUMA	1.430,60			
			DESC. 18%	257,51			
			TOTAL	1.173,09			
			MATERIALES	1.173,09		INSTALACION	-

1.173,09

SUMA	9.764,19	SUMA	6.520,44
-------------	-----------------	-------------	-----------------

MATERIALES + INSTALACION	16.284,63
IVA 12%	1.954,16
TOTAL	18.238,79

Nota : La medida definitiva será la realmente instalada en sitio.

CONDICIONES GENERALES

Tiempo de Entrega : 15 Días
Forma de Pago : Según avance semanal de obra
Validez de al Oferta : 30 días

Atentamente,

ING. GUILLERMO SAMUDIO
Aislamientos, Refractarios y Montajes

ING. MIGUEL LECARO
Gerente de Cuenta



Líderes en Soluciones Industriales

C# 04-199
Guayaquil, Enero 20 del 2005

SRES.
INGENIO VALDEZ
ATT : ING. ITALO MENDOZA

REF : REPARACION MECANICA Y REFRACTARIA DE CALDERA 11

De nuestras consideraciones :

A continuación presentamos nuestra propuesta al trabajo en referencia después de la inspección realizada de acuerdo a las siguientes especificaciones técnicas, cantidades, precios y condiciones generales.

ESPECIFICACIONES TECNICAS

Luego de la inspección realizada en el interior del caldero encontramos que existen otras zonas deterioradas que no fueron tomadas en cuenta en la oferta anterior, por lo tanto en esta propuesta incluimos una parte de la oferta original junto con nuevos trabajos.

1. SELLO DE CAMARA MUERTA

Se procederá a desmontar las paredes frontales y laterales, así como el techo de la cámara muerta para inspeccionar las zonas donde se presenten las fugas. Se revisará el sello refractario a lo largo de los colectores y las paredes laterales. Se aplicará concreto refractario CONCRAX 1500 en las zonas desprendidas. Se instalará baldosa refractaria U-33 12 x 12 x 2" con traslape en los 4 lados sobre el techo interno de la cámara muerta. Finalmente se volverán a instalar las paredes y se cerrará la cámara muerta.

Nota : Las cantidades de materiales que intervienen en la reparación dependerán de la magnitud del daño, por lo tanto de necesitarse mayor cantidad de materiales se cobrarán adicionalmente.

2. FUGA DE PATINES

Se desmontarán los patines y se reparará el refractario que se haya caído por efecto de la vibración con la parrilla con concreto refractario CONCRAX 1700. Se repondrá el eje y las chapetas y se colocará fibra cerámica.

3. REPARACIÓN DE BAFLES, DESVIACIÓN DE GASES

Debido a las limitaciones de espacio entre los tubos en esta zona se propone instalar topes a los tubos para poderles soldar placas de acero refractario con anclajes en acero inoxidable que servirán de soporte para luego aplicar una capa de concreto refractario CONCRAX 1700 de 2" de espesor

4. REPARACIÓN DE REFRACTARIO EN DOMO SUPERIOR

Se demolerá el concreto aislante existente y parte del sello existente concreto refractario entre los tubos. En el caso del concreto aislante se instalará malla expandida sobre la superficie a recubrir junto con anclajes inoxidables para soportar una capa de 2" de espesor de CORAL 80. Luego se instalará concreto refractario CONCRAX 1500 en el sello de los tubos que llegan al domo.

5. REPARACIÓN DEL REFRACTARIO EN EL CABEZAL DEL SUPER HEATER

Esta reparación solo se podrá realizar después de que se hayan realizado los trabajos de reparación en el Super Heater (cambio de tubos y limpieza interna del superheater). Las tabletas refractarias que estén rotas serán desmontadas y se fundirá concreto refractario CONCRAX 1700. En el tramo del baffle se lo trabajará igual que el ítem REPARACIÓN DE BAFLES DESVIACIÓN DE GASES.

7. REPARACIÓN REFRACTARIO HOGAR, PAREDES LATERALES Y FRONTALES

Se procederá a desprender todas las partes flojas en las paredes del hogar y se ejecutarán "colas de milano" en el tramo desprendido para instalar el nuevo concreto refractario CONCRAX 1700. En cuanto a las paredes laterales se revisarán los ladrillos y se repararán los que se encuentren sueltos con mortero refractario SUPERAEROFRAX.

8. REPARACIÓN REFRACTARIO EN PAREDES LATERALES POR TUBOS CONVECTIVOS

Una vez desmontado el casing externo, el aislamiento y el casing interno y se hayan realizado los cambios de los tubos se demolerá las zonas dañadas y se aplicará concreto refractario CONCRAX 1500 entre los espacios que existan en los tubos. Además se instalará un sello a lo largo de la pared con una platina de acero inoxidable que va amarrada al tubo.

Nota : Las cantidades de materiales que intervienen en la reparación dependerán de la magnitud del daño, por lo tanto de necesitarse mayor cantidad de materiales se cobrarán adicionalmente.

10. REPARACIÓN DE CASING EN PAREDES LATERALES Y DOMOS

Se soldará sobre el casing metálico pinchos en alambre C-12 para poder instalar un capa de 4"



de espesor de lana mineral. Luego se instalará aluminio de 0,9 mm de espesor como casing final con acabado "punta de diamante" para darle rigidez.

11. REPARACIÓN DE REFRACTARIO EN SELLO POSTERIOR DE PARRILLA

Se demolerá y limpiará toda la zona, se soldarán anclajes inoxidable y se instalará malla expandida. Luego se aplicará una capa de 2" de concreto refractario CONCRAX 1700 disponiendo tres módulos donde se instalará juntas de dilatación con fibra cerámica.

12. CAMBIO DE 109 TUBOS EVAPORADORES ALETEADOS

Todos los tubos evaporadores serán cambiados por tubos y curvas nuevas que serán suministrados por el Ingenio Valdez. Nuestro trabajo consistirá en cortar los 109 tubos con disco de corte, abrir un orificio por el ducto de gases, sacar los tubos "viejos", instalar los nuevos tubos con las curvas utilizando proceso de soldadura TIG. La "aleta" será una varilla de acero inoxidable suministrada por el Ingenio Valdez y se soldará un cordón corrido de extremo a extremo con proceso MIG. La instalación de un peine rigidizador no esta contemplado.

13. CAMBIO DE 10 TUBOS CONVECTIVOS DE LA PARED (1,2,16,17,18,RS Y LS)

Se procederá a cortar con discos de corte los tubos sugeridos por uds.luego de haber demolido el refractario y haber desmontado el casing (trabajo que se encuentra detallado en los ítems 10 y 8) . Los tubos serán suministrados por el Ingenio Valdez junto con las curvas. Se utilizará el mismo procedimiento de soldadura que el ítem 12, es decir TIG.

14. TURBINAR SÚPER HEATER Y CAMBIO DE 30 TUBOS

Se desmontarán los tubos comprometidos para cambio de 30 tubos suministrados por el ingenio Valdez (con sus respectivas curvas). Se asegurará el super heater y se procederá a limpiar con turbinas el cabezal para sacar la incrustación en la mayor cantidad posible. Se utilizará el mismo procedimiento de soldadura que el ítem 12, es decir TIG.

15. FABRICACION DE CURVAS Y PEGA A TUBO RECTO (109 TUBOS EVAPORADORES)

Se conformaran las curvas de acuerdo a los planos suministrados por ustedes y se soldaran a la seccion recta de los tubos de los evaporadores. Se utilizará el mismo procedimiento de soldadura que el ítem 12, es decir TIG.

16. FABRICACION DE CURVAS Y PEGA A TUBO RECTO (30 TUBOS SUPERHEATER)

Se conformaran las curvas de acuerdo a los planos suministrados por ustedes y se soldaran a la seccion recta de los tubos del sobre calentador. Se utilizará el mismo procedimiento de soldadura que el ítem 12, es decir TIG.

CANTIDADES Y PRECIOS

1. SELLO DE CAMARA MUERTA

Descripción	Unidad	MATERIALES			INSTALACION		
		Cantidad	Precio Unit.	Total	Cantidad	Precio Unit.	Total
Materiales La Llave :							
CONCRAX 1500	KG	3000	0,89	2.670,00			
Tableta refractaria U-33 12 x 12 x 2"	UN	420	12,00	5.040,00			
Mortero Superaoerfrax	KG	180	0,72	129,60			
			SUMA	7.839,60			
			DESC. 18%	1.411,13			
			TOTAL	6.428,47			
Materiales :							
Soldadura 6011	KG	20					
Soldadura 7018	KG	20					
Oxigeno	Carga	5					
Gas	Carga	3		802,56			
Discos de corte	UN	15					
Discos de pulir	UN	10					
Malla expandida	1,22 x 2,44	16					
Transporte, fungibles							542,00
Instalación :							
Montaje y Desmontaje paredes y techo	Global				1	4.740,00	4.740,00
Mano de Obra Refractaria	M2				135	9,33	1.259,55
			MATERIALES	7.231,03		INSTALACION	6.541,55

13.772,58

2. FUGA DE PATINES

Descripción	Unidad	MATERIALES			INSTALACION		
		Cantidad	Precio Unit.	Total	Cantidad	Precio Unit.	Total
Materiales La Llave :							
CONCRAX 1700	KG	300	1,35	405,00			
Fibra ceramica B-8	Rollo	2	78,69	157,38			
			SUMA	562,38			
			DESC. 18%	101,23			
			TOTAL	461,15			
Materiales :							
Soldadura 6011	KG	20					
Soldadura 7018	KG	20					
Eje acero transmision 1"	ML	7,5		445,33			
Plancha acero inox. 304, 6 mm	1.2 x 2.4	0,25					
Soldadura inox	KG	4					
Transporte, fungibles							108,90
Instalación :							
Reparacion sello móvil	Global				1	890,00	890,00
			MATERIALES	906,48		INSTALACION	998,90

1.905,38

3. REPARACIÓN DE BAFLES, DESVIACIÓN DE GASES

Descripción	Unidad	Cantidad	MATERIALES		INSTALACION		
			Precio Unit.	Total	Cantidad	Precio Unit.	Total
Materiales La Llave :							
CONCRAX 1700	KG	2250	1,35	3.037,50			
			SUMA	3.037,50			
			DESC. 18%	546,75			
			TOTAL	2.490,75			
Materiales :							
Varilla inox 1/4"	6ML	45		758,07			
Soldadura inox	KG	10					
Transporte, fungibles							374,00
Instalación :							
Reparacion refractaria, soporte metalico	Global				1	5.185,00	5.185,00
			MATERIALES	3.248,82		INSTALACION	5.559,00

8.807,82

4. REPARACIÓN DE REFRACTARIO EN DOMO SUPERIOR

Descripción	Unidad	Cantidad	MATERIALES		INSTALACION		
			Precio Unit.	Total	Cantidad	Precio Unit.	Total
Materiales La Llave :							
CONCRAX 1500	KG	1200	0,89	1.068,00			
CORAL 80	KG	240	1,42	340,80			
			SUMA	1.408,80			
			DESC. 18%	253,58			
			TOTAL	1.155,22			
Materiales :							
Malla expandida	1,22 x 2,44	3					
Varilla inox 1/8"	3ML	3		187,49			
Soldadura inox	KG	2					
Transporte, fungibles							81,00
Instalación :							
Reparacion refractaria, soporte metalico	Global				1	830,00	830,00
			MATERIALES	1.342,71		INSTALACION	911,00

2.253,71

5. REPARACIÓN DEL REFRACTARIO EN EL CABEZAL DEL SUPER HEATER

Descripción	Unidad	Cantidad	MATERIALES		INSTALACION		
			Precio Unit.	Total	Cantidad	Precio Unit.	Total
Materiales La Llave :							
CONCRAX 1700	KG	1900	1,35	2.565,00			
Placa U-33 24" x 12" x 2"	PLACA	40	23,07	922,80			
			SUMA	3.487,80			
			DESC. 18%	627,80			
			TOTAL	2.860,00			
Materiales :							
Malla expandida	1,22 x 2,44	4		124,37			
Transporte, fungibles							283,60
Instalación :							
Reparacion refractario	Global				1	4.740,00	4.740,00
			MATERIALES	2.984,37		INSTALACION	5.023,60

8.007,97

7. REPARACIÓN REFRACTARIO HOGAR, PAREDES LATERALES Y FRONTALES

Descripción	Unidad	Cantidad	MATERIALES		INSTALACION		
			Precio Unit.	Total	Cantidad	Precio Unit.	Total
Materiales La Llave :							
CONCRAX 1700	KG	1200	1,35	1.620,00			
Superaerofrax	KG	70	0,72	50,40			
Fibra cerámica B-8 1"	Rollo	2	78,69	157,38			
			SUMA	1.827,78			
			DESC. 18%	329,00			
			TOTAL	1.498,78			
Materiales :							
Varilla acero inox 1/8"	3ML	3					
Soldadura inox	KG	1		121,77			
Plywood 15 mm	1,2 x 2,4	2					
Transporte, fungibles							115,49
Instalación :							
Reparacion refractario	Global				1	1.335,00	1.335,00
			MATERIALES	1.620,55		INSTALACION	1.450,49

3.071,04

8. REPARACIÓN REFRACTARIO EN PAREDES LATERALES POR TUBOS CONVECTIVOS

Descripción	Unidad	Cantidad	MATERIALES		INSTALACION		
			Precio Unit.	Total	Cantidad	Precio Unit.	Total
Materiales La Llave :							
CONCRAX 1500	KG	3000	0,89	2.670,00			
			SUMA	2.670,00			
			DESC. 18%	480,60			
			TOTAL	2.189,40			
Materiales :							
Plancha Acero inox 304, 3 mm	1,2 x 2,4	1					
Plywood 20 mm	1,2 x 2,4	5		600,00			
Transporte, fungibles							287,00
Instalación :							

Sellos de domo	Sello			4	445,00	1.780,00
Demolicion y aplicacion refractario	M2			66	44,44	2.933,04
				MATERIALES	2.789,40	
					INSTALACION	5.000,04

7.789,44

10. REPARACIÓN DE CASING EN PAREDES LATERALES Y DOMOS

Descripción	Unidad	MATERIALES			INSTALACION		
		Cantidad	Precio Unit.	Total	Cantidad	Precio Unit.	Total
Materiales La Llave :							
Aluminio 0,9 mm	KG	50	4,33	216,50			
Lana Mineral 1000 x 2000 x 2" c/malla	Manta	22	26,40	580,80			
Tornillos inox	UN	300	0,02	6,00			
				SUMA	803,30		
				DESC. 18%	144,59		
				TOTAL	658,71		
Materiales :							
Platina 1 " x 1/8"	6ML	3					
Soldadura 6011	KG	5		112,80			
Alambre	KG	20					
Transporte, fungibles							44,00
Instalación :							
Reparacion y aislamiento	M2				21	20,74	435,54
				MATERIALES	771,51		
					INSTALACION	479,54	

1.251,05

11. REPARACIÓN DE REFRACTARIO EN SELLO POSTERIOR DE PARRILLA

Descripción	Unidad	MATERIALES			INSTALACION		
		Cantidad	Precio Unit.	Total	Cantidad	Precio Unit.	Total
Materiales La Llave :							
CONCRAX 1700	KG	500	1,35	675,00			
Fibra cerámica B-8, 1"	Rollo	1	78,69	78,69			
				SUMA	753,69		
				DESC. 18%	135,66		
				TOTAL	618,03		
Materiales :							
Malla expandida	1,2 x 2,4	2		94,19			
Varilla inox. 1/8"	3ML	3					60,00
Transporte, fungibles							
Instalación :							
Reparacion refractaria	Global				1	670,00	670,00
				MATERIALES	712,22		
					INSTALACION	730,00	

1.442,22

12. CAMBIO DE 109 TUBOS EVAPORADORES ALETEADOS

Descripción	Unidad	MATERIALES			INSTALACION		
		Cantidad	Precio Unit.	Total	Cantidad	Precio Unit.	Total
Materiales :							
Aporte MIG	Rollo	14					
Disco de Corte	UN	50		600,00			
Transporte, fungibles							1.916,00
Instalación :							
Cambio de tubo	Tubo				109	164,44	17.923,96
Instalacion de aleta	Aleta				109	111,11	12.110,99
				MATERIALES	600,00		
					INSTALACION	31.950,95	

32.550,95

13. CAMBIO DE 10 TUBOS EVAPORADORES DE LA PARED (1,2,16,17,18,RS Y LS)

Descripción	Unidad	MATERIALES			INSTALACION		
		Cantidad	Precio Unit.	Total	Cantidad	Precio Unit.	Total
Materiales :							
Disco de Corte	UN	5		13,33			
Transporte, fungibles							138,64
Instalación :							
Cambio de tubo	Tubo				10	174,81	1.748,10
				MATERIALES	13,33		
					INSTALACION	1.886,74	

1.900,07

14. TURBINAR SÚPER HEATER Y CAMBIO DE 30 TUBOS

Descripción	Unidad	MATERIALES			INSTALACION		
		Cantidad	Precio Unit.	Total	Cantidad	Precio Unit.	Total
Materiales :							
Cepillos	UN	25		370,67			
Discos de corte	UN	14					
Transporte, fungibles							491,61
Instalación :							
Limpieza de superheater	UN				2	890,00	1.780,00
Cambio de tubo	Tubo				30	177,78	5.333,40
				MATERIALES	370,67		
					INSTALACION	7.605,01	

7.975,68

15. FABRICACION DE CURVAS Y PEGA A TUBO RECTO (109 TUBOS EVAPORADORES)

Descripción	Unidad	MATERIALES			INSTALACION		
		Cantidad	Precio Unit.	Total	Cantidad	Precio Unit.	Total
Transporte, fungibles							303,68
Instalación :							
Fabricacion de curva	Curvas				546	10,00	5.460,00
				MATERIALES	-		
					INSTALACION	5.763,68	

5.763,68

