

**RECUPERACIÓN DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE VAPOR DEL
HORNO F1, EN LA REFINERÍA DE ORITO PUTUMAYO, ECOPETROL
S.A.**

JON FREDDY HERNÁNDEZ SÁNCHEZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2008

**RECUPERACIÓN DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE VAPOR DEL
HORNO F1, EN LA REFINERÍA DE ORITO PUTUMAYO, ECOPETROL
S.A.**

JON FREDDY HERNÁNDEZ SÁNCHEZ

Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Mecánico

Director

OMAR GELVEZ AROCHA
Ingeniero Mecánico

Codirector

JOSE ANIBAL SERNA GIL
Ingeniero Metalúrgico M.Sc, Ph.D. I.Q



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECAÑICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECÁNICA
BUCARAMANGA

2008

Con el amor de mi corazón dedico este proyecto a Dios creador del universo, a mis padres Gil Antonio y María Esperanza, a mis hermanos Mónica y Anthony y a José Julián Santos

AGRADECIMIENTOS

Al grupo de Investigación en Crudos Pesados de la escuela de Ingeniería Metalúrgica (Convenio 006 de 2006 UIS-ICP) en especial al Ing. PhD Darío Yesid Peña por creer en mis capacidades para desarrollar este trabajo de grado.

A la Universidad Industrial de Santander, en especial al Profesor e Ingeniero Omar Gélvez, por su respaldo y colaboración en el desarrollo y culminación del trabajo de grado.

Al Ing. PhD. Aníbal Serna por sus valiosas enseñanzas y guía en el camino profesional, por ser mi ejemplo a seguir y por compartir conmigo su experiencia y conocimientos en pro de la formación no solo como profesional, sino como persona.

A mis amigas y compañeras Juliana Tarazona y Maryury Blanco con quienes compartí la experiencia profesional al desarrollar la práctica empresarial en la gran empresa ECOPETROL S.A.

A mis amigas Biviana Ballesteros, Diana Mantilla, y en especial a mi gran amiga y compañera de vida Yeinmy Paola Morales, por estar siempre ahí cuando las he necesitado, por ser esa voz de aliento cuando el camino se cierra.

A mis grandes amigos Omar Iguarán, Felipe Ávila y William Pinto por compartir conmigo el camino para convertirnos en Ingenieros.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	3
1.2 PLANTEAMIENTO	6
1.3 ALCANCE DEL PROYECTO	7
2. DESCRIPCIÓN DEL HORNO F1 Y ASPECTOS ASOCIADOS A SU FUNCIONAMIENTO	8
2.1 HORNO F-1	9
2.1.1 Subsistemas del Horno	11
2.2 RESUMEN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL HORNO F1	26
3. INSPECCIÓN Y ANÁLISIS DE INTEGRIDAD DEL HORNO F1	27
3.1 METODOLOGÍA RBI	27
3.2 RESULTADOS DE LA INSPECCIÓN	28
3.2.1 Subsistema de Transferencia de Calor	29
4. PROTOCOLO PARA PUESTA A PUNTO DEL HORNO F1	44
4.1 METODOLOGÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL PROTOCOLO PARA PUESTA A PUNTO DEL HORNO F1	44
4.2 PLANEAMIENTO PARA PUESTA A PUNTO DEL HORNO F1	45
4.3 PLAN DE REINSTALACIÓN DE LA TUBERÍA DEL SERPENTÍN DE GENERACIÓN DE VAPOR	50
4.3.1 Adecuación de los Orificios de la Tubería Faltante	50
4.4 REPARACIÓN REALIZADA EN LA GRIETA EN EL DOMO	52

4.5 REPARACIÓN DEL SISTEMA DE QUEMADORES	53
4.6 REPARACIONES EN LA ZONA DE RADIACIÓN	54
4.7 REACONDICIONAMIENTO DEL SUMINISTRO DE AGUA PARA LA GENERACIÓN DE VAPOR	54
5. CÁLCULO DE LA EFICIENCIA DEL HORNO	57
5.1 EFICIENCIA EN CONDICIONES DE OPERACIÓN ACTUAL	58
5.2 EFICIENCIA ESPERADA DESPUÉS DE REPARACIÓN	69
6. TRATAMIENTO DEL AGUA PARA CALDERA (TAMBOR DE VAPOR)	82
6.1 METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DEL TRATAMIENTO ADECUADO DEL AGUA PARA CALDERA (TAMBOR DE VAPOR)	82
6.2 IMPUREZAS ENCONTRADAS EN EL AGUA	84
6.3 CALIDAD DEL AGUA DE CALDERAS (TAMBOR DE VAPOR)	86
6.4 PROBLEMAS POR IMPUREZAS EN EL AGUA	88
6.5 ANÁLISIS DEL AGUA DISPONIBLE PARA EL PROCESO DE GENERACIÓN DE VAPOR EN LA REFINERÍA DE ORITO	90
6.6 CONTROL DE IMPUREZAS EN EL AGUA	92
7. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y PLAN DE SUGERENCIAS PARA MEJORA DEL HORNO F1	97
7.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS	97
7.1.1 Análisis de resultados de la inspección de integridad	97
7.1.2 Análisis de la Eficiencia Calculada	98
7.1.3 Suministro de Agua	99
7.1.4 Líneas de Transferencia de Vapor	99
7.1.5 Análisis del Tratamiento que se debe dar al Agua	99

7.2 PLAN DE SUGERENCIAS PARA MEJORA DEL HORNO F1	100
CONCLUSIONES	103
BIBLIOGRAFÍA	105
ANEXO DATA SHEET HORNO F1	107

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Esquema interno de las zonas de un horno dual tipo cabina	4
Figura 2. Diagrama del estado actual de la refinería de orito-putumayo	5
Figura 3. Posicionamiento del Horno F1 en la refinería	8
Figura 4. Diagrama de subsistemas del horno	9
Figura 5. Esquema de la posición de los elementos del horno	10
Figura 6. Perfil de presiones de un horno de tiro natural	12
Figura 7. Flujo de gases en un horno de tiro natural	13
Figura 8. Fotografía de uno de los quemadores del horno F1	14
Figura 9. Suministro de vapor y combustible a los quemadores	15
Figura 10. Esquema de un deshollinador fijo	15
Figura 11. Fotografía del Domo de Vapor	17
Figura 12. Corte interno del Tambor de vapor	20
Figura 13. Accesorio de la cámara de secado en el domo de vapor	20
Figura 14. Botella de nivel del tambor de vapor	21
Figura 15. Líneas de Suministro en la Refinería	23
Figura 16. Fotografía del horno y el tambor de vapor	25
Figura 17. Diagrama de Flujo del RBI.	28
Figura 18. Tubos de la zona de radiación parte superior por fuera de su soporte	29

Figura 19. Soportes y Cuñas con Presencia de Sulfidación	30
Figura 20. Entalla en tubo 28 pared sur	30
Figuras 21a. Residuos de refractario en el piso y superficie de olla deteriorada	31
Figura 21b. Pared lateral con refractario resquebrajado	32
Figura 22. Termopozo en pared de zona de radiación	32
Figura 23a. Pared lateral de la zona de convección, presencia de refractario quemado y depositado. 23b. Tubería interna	33
Figura 24. Diferencia de tamaños de los orificios de los quemadores usados para la combustión	34
Figura 25. Vista externa del sistema de Deshollinado	35
Figura 26. Superficie del piso del domo de vapor, presenta socavadura y picado	35
Figura 27. Grieta encontrada en el interior del domo, esquina sur de la unión entre el domo y accesorio interno	36
Figura 28. Torres Despojadoras A.C.P.M y Keroseno (D2 y D3)	36
Figura 29. Deformación y pérdida del recubrimiento de la parte inferior del foil	37
Figura 30. Estado del la brida de la Despojadora D2	37
Figura 31. Estado interno de la Despojadora D2	38
Figura 32. Estado de los internos de la despojadora D2	38
Figura 33. Estado de la brida en la despojadora D3	39
Figura 34. Estado interno de la Despojadora D3	39
Figura 35. Estado de los internos Despojadora D3	40
Figura 36. Fotografía del estado del recubrimiento (partido)	40

Figura 37. Daños del MCO-T en las líneas de Fuel oil y Acpm hacia los intercambiadores	41
Figura 38. Estado del MCO-T cerca de las bridas de alimentación del domo de vapor	41
Figura 39. Estado del MCO-T cerca a la brida de alimentación de la torre despojadora de Acpm	41
Figura 40a y 40b. Líneas de transporte de Vapor desnudas debido a que el recubrimiento se ha partido y caído	42
Figura 41. Diagrama del proceso de construcción del protocolo	44
Figura 42. Disposición de las zonas del Horno F1	51
Figura 43. Fotografía del Diagrama de Gantt, Cronograma de actividades para reinstalación del serpentín	52
Figura 44. Grieta encontrada entre el domo de vapor y accesorio de acumulación de lodos	52
Figura 45. Accesorio de acumulación de lodos, soldado al domo de vapor	52
Figura 46. Estado actual de la soldadura correctiva de la grieta reparada	53
Figura 47. Líneas de Suministro de proceso y para generación de vapor	55
Figura 48. Diagrama de calor transferido en el horno, condiciones actuales	57
Figura 49. Diagrama de flujo Cálculo de Q_f	60
Figura 50. Geometría del arreglo de los tubos en zona de radiación	61
Figura 51. Factor de corrección para emisividad de vapor de agua	64
Figura 52. Factor de corrección térmica por presencia dual de vapor de agua y dióxido de carbono	64
Figura 53. Emisividad del dióxido de carbono en la zona de radiación	65

Figura 54. Emisividad del H ₂ O	65
Figura 55. Temperaturas en un tubo de la zona de radiación	66
Figura 56. Diagrama para hallar Qs	70
Figura 57. Emisividad del dióxido de carbono en la zona de convección	72
Figura 58. Emisividad del vapor de agua en la zona de convección	72
Figura 59. Factor de corrección para la emisividad del agua	73
Figura 60. Corrección térmica debido a la presencia de agua y dióxido de carbono	73
Figura 61. Geometría del arreglo de los tubos en la zona de Convección	74
Figura 62. Temperaturas en la tubería de convección	75
Figura 63. Diagrama de la metodología utilizada en el análisis del agua	83
Figura 64. Pozo de reposo de agua industrial refinería orito putumayo	93

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Características del Horno F1	26
Cuadro 2. Resumen de las fallas encontradas en la inspección basada en el RBI.	42
Cuadro 3. Descripción de la maquinaria y equipo para parada de planta	47
Cuadro 4. Detalle de las tareas y personal requeridos en la parada de planta de planta para puesta a punto del Horno F1.	48
Cuadro 5. Relación de costo de personal externo a la refinería necesario para la parada de planta programada.	49
Cuadro 6. Presupuesto de la puesta a punto del Horno F1	50
Cuadro 7. Porcentajes admisibles de sílice, alcalinidad y conductividad específica en el agua para calderas según ASME.	86
Cuadro 8. Porcentajes recomendados de Fe, Cu y dureza total según ASME.	87
Cuadro 9. Recomendaciones de la American Boiler Manufactures Assosiation. En cuanto a sílice, sólidos disueltos, sólidos totales y alcalinidad	88
Cuadro 10. Resultados del análisis del agua mes de Enero de 2007.	90
Cuadro 11. Resultados del análisis del agua mes de febrero de 2007.	91
Cuadro 12. Resultados del análisis del agua mes de marzo de 2007.	91
Cuadro 13. Resultados del análisis del agua promedio total.	91

Cuadro 14. Comparación entre los valores admisibles y los valores medidos.	92
Cuadro 15. Impurezas en el agua y prevención.	93

RESUMEN

TITULO:

RECUPERACIÓN DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE VAPOR DEL HORNO F1, EN LA REFINERÍA DE ORITO PUTUMAYO, ECOPETROL S.A*

AUTOR:

HERNÁNDEZ SÁNCHEZ, Jon Freddy **

PALABRAS CLAVES:

Horno Dual, Generación de Vapor, Integridad Estructural, Eficiencia, Protocolo, Tratamiento de Agua, Refinería.

DESCRIPCIÓN:

Este Documento tiene por objeto establecer un conjunto de parámetros asociados a la recuperación del sistema de generación de vapor del Horno F1, en la refinería de Orito Putumayo, ECOPETROL S.A, y en si la puesta a punto del Horno F1 en general.

Para la puesta a punto del Horno F1, se realizó una inspección de este, basado en la metodología RBI (Inspección basada en Riesgo), para comprobar su estado real y determinar las tareas apropiadas para recuperar el sistema de generación de vapor y posterior puesta a punto todo el sistema. De igual manera se realizaron tareas como determinar la eficiencia del Horno en condiciones de operación actuales y la eficiencia esperada después de recuperar el sistema de generación de vapor; se realizó un análisis comparativo de la calidad del agua disponible en la refinería, para determinar el mejor método de tratamiento de agua y así evitar los problemas que se causan por el no tratamiento de esta.

Por último concluye con un protocolo para puesta a punto del Horno F1, especificando las tareas, personal, maquinaria, equipo y presupuesto necesario para la parada de planta programada para realizar mantenimiento correctivo, y a su vez un plan de sugerencias para la mejora continua del Horno y los procesos asociados a él.

*Trabajo de Grado-Modalidad Práctica Empresarial.

**Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica. Ing. Omar Gélvez Arocha

SUMMARY

TITLE:

RECOVERY OF THE STEAM GENERATION SYSTEM THE F1 FURNACE OF ORITO PUTUMAYO REFINERY, ECOPETROL S.A.*

AUTHOR:

HERNÁNDEZ SÁNCHEZ, Jon Freddy**

KEY WORDS:

Dual Furnace, Steam Generation, Structural Integrity, Efficiency, Protocol, Water treatment, Refinery.

DESCRIPTION:

This paper is intended to do establish a set of parameters associated with the recovery of the steam generation system the F1 Furnace of Orito Putumayo Refinery, ECOPETROL S.A. and if the tuning F1 Furnace in general.

The application of the standard API 581 for inspection based on risk is taken into account in this process to determine the integrity of the teams that makes a refinery and cyclical process that feeds the next scheduled stops

For tuning F1 Furnace, was conducted an inspection of this, methodology based on RBI (Risk-based Inspection) to verify their actual status and identify the tasks appropriate to restore the system of steam generation and subsequent tuning the entire system. Similarly tasks were performed to determine the efficiency of the furnace in operating conditions and the current efficiency expected after regaining steam generation system will be conducted a comparative analysis of the quality of water available in the refinery, to determine the best method of treating water and thus avoid the problems that were caused by the failure of this treatment..

Finally concludes with a protocol for tuning F1 Furnace, specifying the tasks, personnel, machinery, equipment and budget necessary to stop plant scheduled to perform corrective maintenance, and in turn a plan of suggestions for the continuous improvement of furnace and the processes associated with it.

* Graduation Project- Enterprise Practice Modality

**Physical-Mechanical Engineerings Faculty, Mechanical Engineering. Eng. Omar Gélvez Arocha

INTRODUCCIÓN

La utilización de la energía en sus diversas formas, tiene un papel muy importante en las industrias en general, por esta razón, optimizar los procesos para mejorar la calidad tanto de los productos como de alargar la vida útil de los equipos es un campo importante en la aplicación de la ingeniería mecánica.

Todos los equipos y materiales que conforman los sistemas operativos de las industrias sufren degradación y deterioro de sus condiciones mecánico-metalúrgicas durante el proceso de operación comercial, debido al manejo, mantenimiento y desempeño propio en el lugar de trabajo en donde se han utilizado.

La refinería de la Superintendencia de operaciones de Orito Putumayo inició su actividad en 1968 con un horno tipo cabina construido por Distral con diseño de PETRO-CHEM Development, siendo diseñado y construido para una capacidad de 1000 B.P.P.D. de precalentamiento de crudo, pero debido al crecimiento de la refinería, ECOPETROL consideró la necesidad de aumentar su capacidad a 3000 B.P.P.D de precalentamiento de crudo. Este equipo es considerado crítico ya que constituye uno de los sistemas mas importantes para la operación de los procesos propios de la refinería, debido a esto nace la necesidad de evaluar el estado real del horno desde el punto de vista operacional y de su integridad mecánica y metalúrgica, y así conseguir el aprovechamiento óptimo y determinar su vida útil residual.

La evaluación de integridad busca inicialmente conocer el estado general del horno desde el punto de vista mecánico de sus componentes: sistema de

quemadores, zona de precalentamiento de crudo, zona de generación de vapor, deshollinadores, suministro de agua, distribución de vapor a los subsistema estado del refractario y del domo de vapor; en el estado metalúrgico se busca evaluar la corrosión presente en las laminas estructurales, domo de vapor, tubería de transporte de crudo, tubería de transporte de vapor producido y vapor sobrecalentado.

Una vez conocido el estado mecánico y metalúrgico del horno, es necesario establecer los procedimientos para recuperar y optimizar todos los procesos asociados a este, diseñar planeamiento y protocolo reparación y sustituciones necesarias, acondicionamiento de suministro de agua, establecimiento de las necesidades de suministro de vapor para los que equipos que lo requieren, levantamiento de planos de las líneas de suministro de vapor, determinación de la eficiencia del horno en las condiciones actuales y la eficiencia esperada luego de la puesta a punto del horno, tratamiento de agua que requiere la unidad de generación de vapor y por último plan de sugerencias para mejora continua del horno.

De las tareas programadas para la recuperación del horno, depende la mejora y optimización en los procesos, el ahorro de energía y el incremento en las utilidades de la refinería, ya que el aumento en la vida útil residual de los equipos representa una ganancia adicional y la puesta a punto de los equipos asegura el buen desempeño de los procesos.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

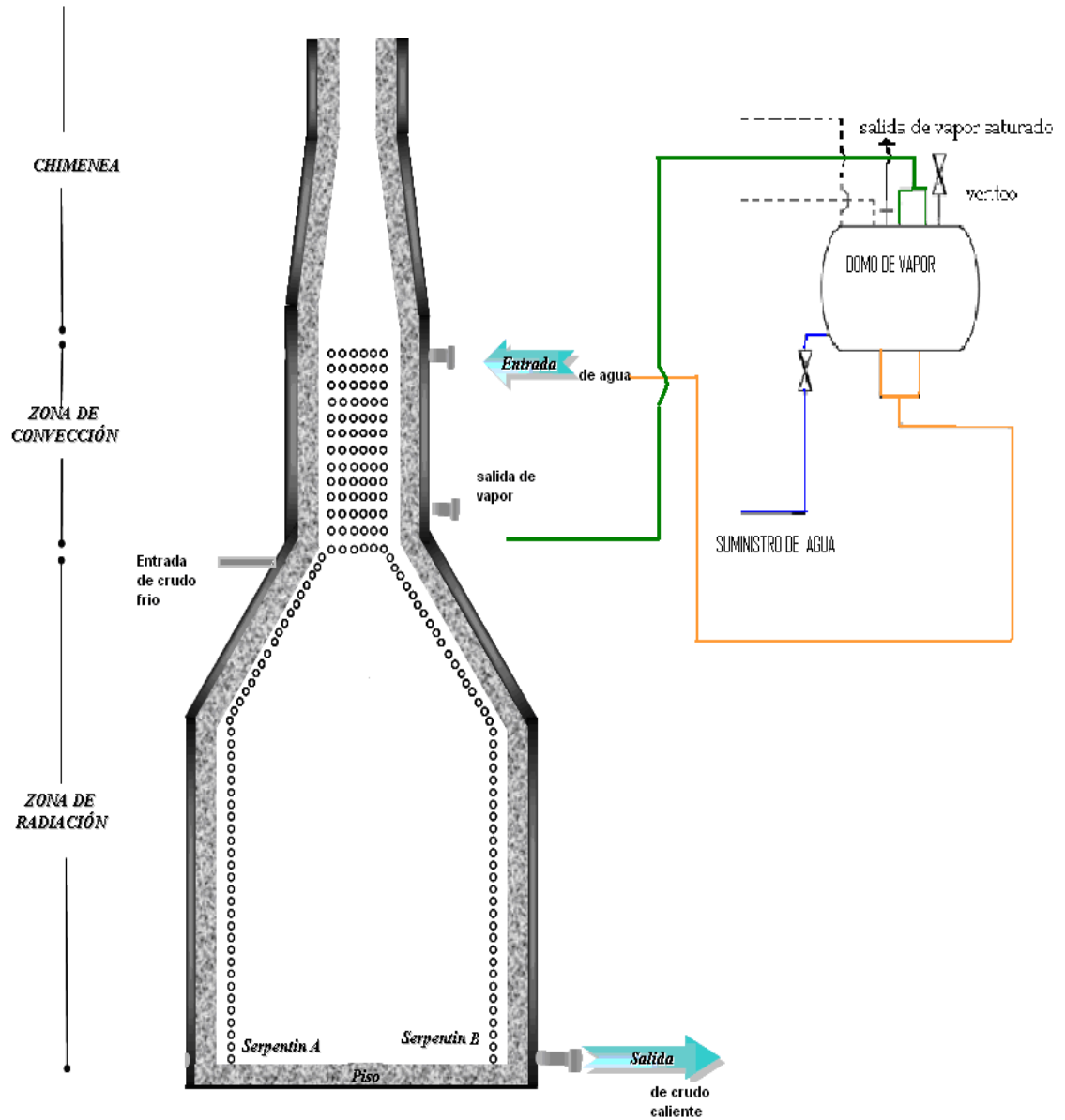
La refinería de la Superintendencia de Operaciones Orito fue construida en 1968 por la compañía Texas Petroleum Company con el fin de solventar las necesidades de operación propia de la explotación de hidrocarburos. La capacidad inicial de carga del horno fue de 1.000 B.P.P.D. y en el año de 1987 bajo la administración de ECOPETROL se amplió la capacidad a 3.000 B.P.P.D. En este mismo año se da inicio a la explotación de los campos de producción de petróleo en el Departamento de Putumayo, con la puesta en servicio del sistema de transporte conocido como el Oleoducto Trasandino (OTA).

En este proceso de ampliación de la refinería, ECOPETROL consideró la necesidad de un Horno tipo cabina, cual fue diseñado para cumplir dos funciones:

- a. Realizar el calentamiento de 38.000 lb/hr de crudo (3000 B.P.P.D) en la zona de radiación, el horno cuenta con cuatro quemadores y una capacidad calorífica es 8.5 MBTU/hr.
- b. Su segunda función generar 3.750 lb. (2.800 B.P.P.D.) de vapor en su zona de convección.

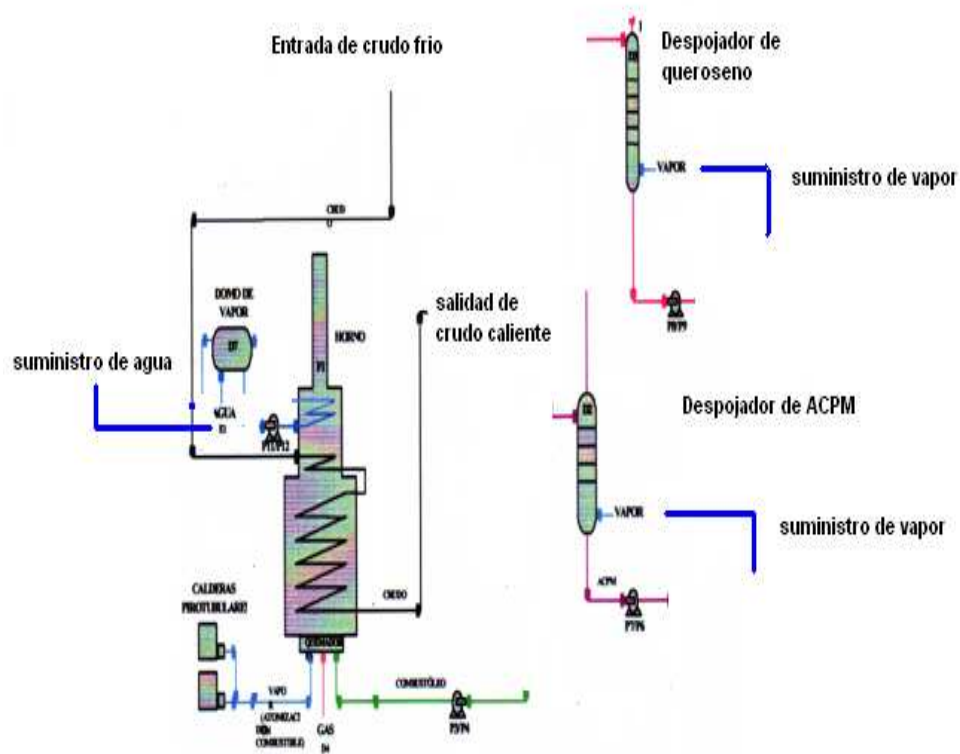
El horno actualmente produce 1200 B.P.P.D de crudo precalentado y nada de vapor ya que se retiro el serpentín de la zona de generación de vapor por el daño presentado en este ocasionado por la no utilización de tratamiento del agua (tratamiento de agua tipo caldera).

Figura 1. Esquema interno de las zonas de un horno dual tipo cabina¹



¹ Tomado del libro: Combustión, Brizuela-Romano

Figura 2. Diagrama del estado actual de la refinería de orito-putumayo



En la figura 2 las líneas azules (cortadas) muestran que el transporte de vapor se encuentra fuera de servicio.

Las condiciones que se presentan actualmente en el Horno F1 de la refinería de ECOPEPETROL S.A. en Orito Putumayo evidencian ciertas dificultades en el Proceso típico para el cuales fue diseñado, reflejándose en pérdidas económicas y una disminución de la Eficiencia Global en la Producción, por estas razones se hace necesario hacer un análisis energético del sistema de generación de vapor con el objetivo de recuperarlo.

La causas de este problema son entre otras la falta de vapor para trabajo en las operaciones de despojo en la planta, desaprovechamiento de unas de las funciones del horno dual tipo cabina (generación de vapor) y pérdidas en

capacidad de producción reflejadas en pérdidas económicas para la planta. Estas causas son un sustento para invertir en el equipo.

En general los puntos que justifican una solución de este problema se pueden listar de la siguiente manera:

- Recuperar el sistema de generación de vapor en el horno F1 mediante la reinstalación del serpentín propio de este.
- Reactivación de la capacidad de trabajo en las torres despojadoras de Queroseno y ACPM.
- Aumentar la eficiencia global actual en el horno f1, representada la recuperación de la tarea de generación de vapor (una de las tareas para la cual fue diseñado).

1.2 PLANTEAMIENTO

La Refinería de la Superintendencia de Operaciones ECOPETROL S.A. en Orito Putumayo, en su deseo de ser cada día más competitiva y rentable, planea reparar y poner a punto su horno de proceso, para solucionar los frecuentes problemas, que son entre otros:

- Paradas no programadas por fallas en la combustión en la zona de quemadores.
- Fallas de suministro de vapor saturado y vapor sobrecalentado para proceso de despojo en las torres despojadoras D2 y D3.

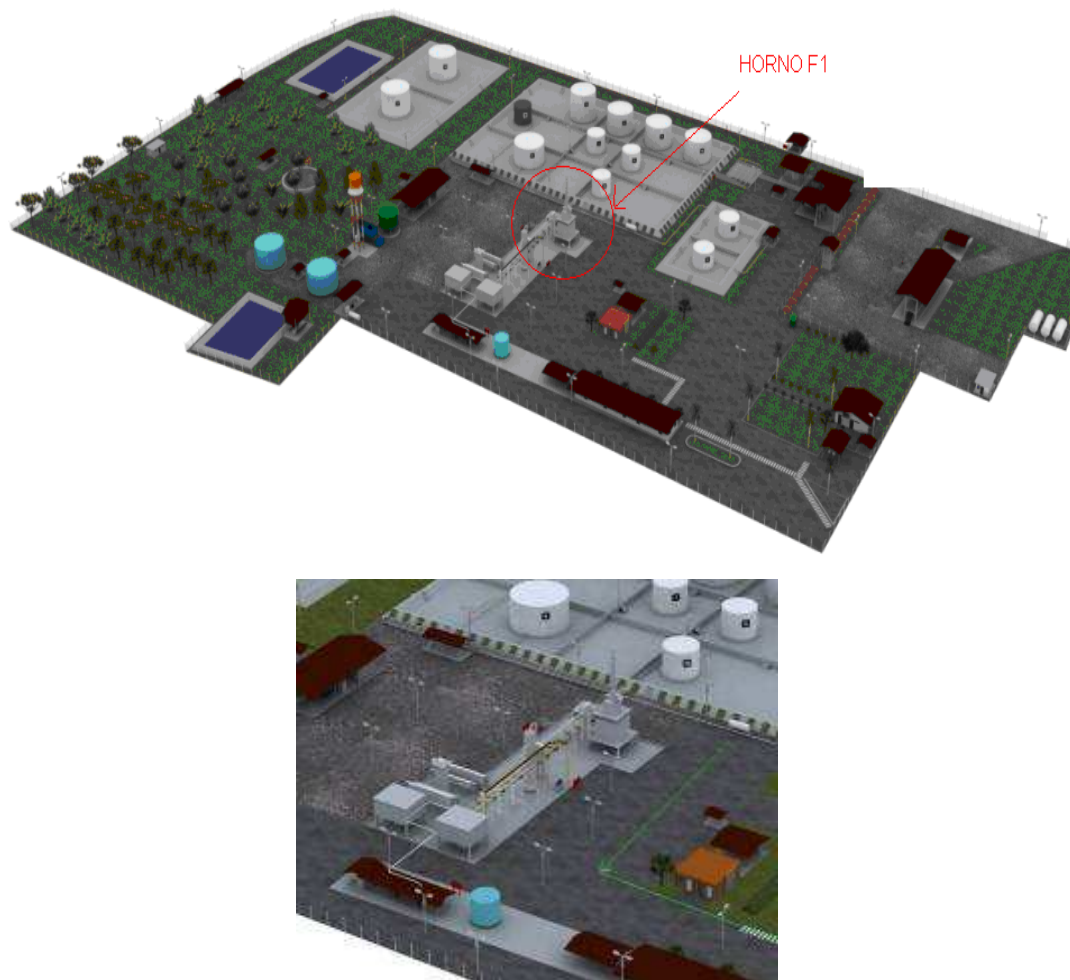
- Disminución de la eficiencia global del horno por el no cumplimiento de sus funciones de diseño, ya que la generación de vapor no se encuentra en óptimas condiciones.

1.3 ALCANCE DEL PROYECTO

El alcance del proyecto comprende desde la identificación del estado mecánico y metalúrgico del horno, pasando por el diseño del planeamiento y protocolo de instalación de las partes que necesiten ser cambiadas o mejoradas, identificación de las líneas de suministro de vapor y evaluación del estado del aislante térmico, el acondicionamiento de el suministro de agua, la evaluación de la eficiencia actual del horno y la eficiencia esperada luego de poner a punto los sistemas del horno, hasta la elaboración del plan de sugerencias de mejora continua de los procesos asociados al horno, el cual es entregado a la refinería de la Superintendencia de Operaciones de ECOPETROL S.A en Orito Putumayo.

2. DESCRIPCIÓN DEL HORNO F1 Y ASPECTOS ASOCIADOS A SU FUNCIONAMIENTO

Figura 3. Posicionamiento del Horno F1 en la refinería²



En este capítulo, se hace una descripción detallada del horno de la refinería, haciendo énfasis en los aspectos más importantes, así como de los aspectos asociados a él. Para cumplir su propósito de transferencia del calor, el horno dispone de diferentes elementos tales como quemadores (para liberar la

² Tomado de planos de planta, Refinería Orito Putumayo.

energía del combustible), serpentines formados por tubos a través de los cuales circula el fluido de proceso que se desea calentar, y una infraestructura física para sostenerlo, la cubierta o casing o cámara de fuegos, lo mismo que un ducto, Chimenea, que permite la salida de los gases producto de la combustión.

El principal mecanismo de transferencia de calor en un horno es la radiación desde los quemadores hacia los serpentines. Por diseño original del horno se adicionan unas filas de tubos, después de la radiación, para recuperar calor desde los gases de combustión, formando una zona de convección.

De manera resumida un horno lleva a cabo tres procesos: la combustión para liberar energía desde un combustible, la transferencia de calor hacia el fluido de proceso y el manejo de los productos de combustión.

2.1 HORNO F-1

Figura 4. Diagrama de subsistemas del horno

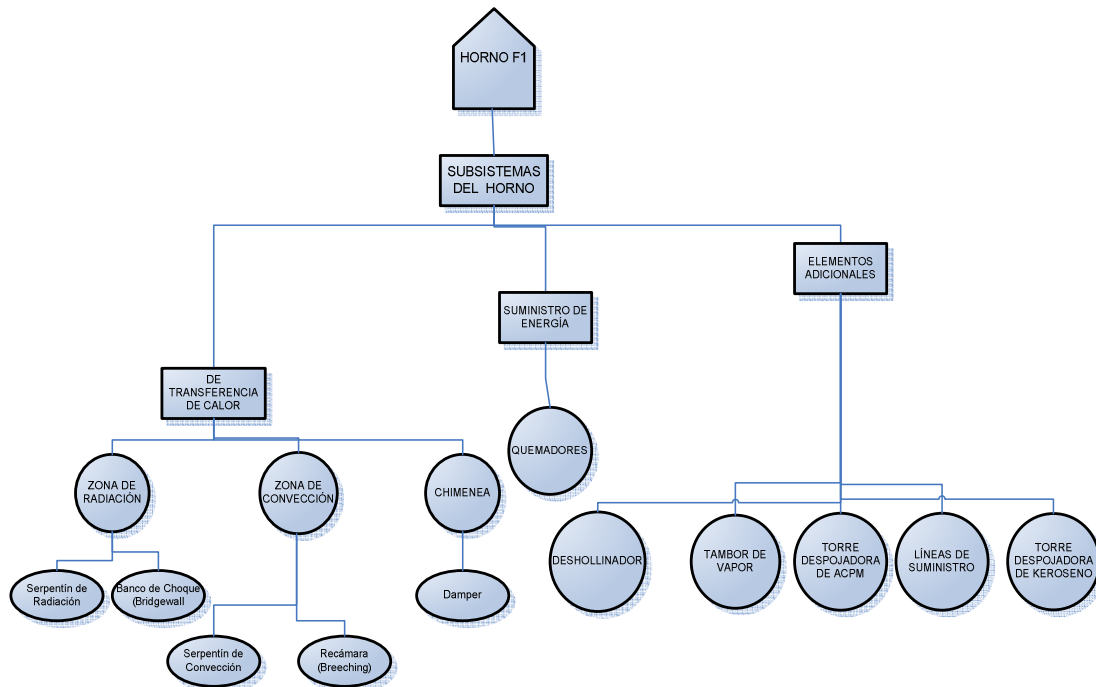
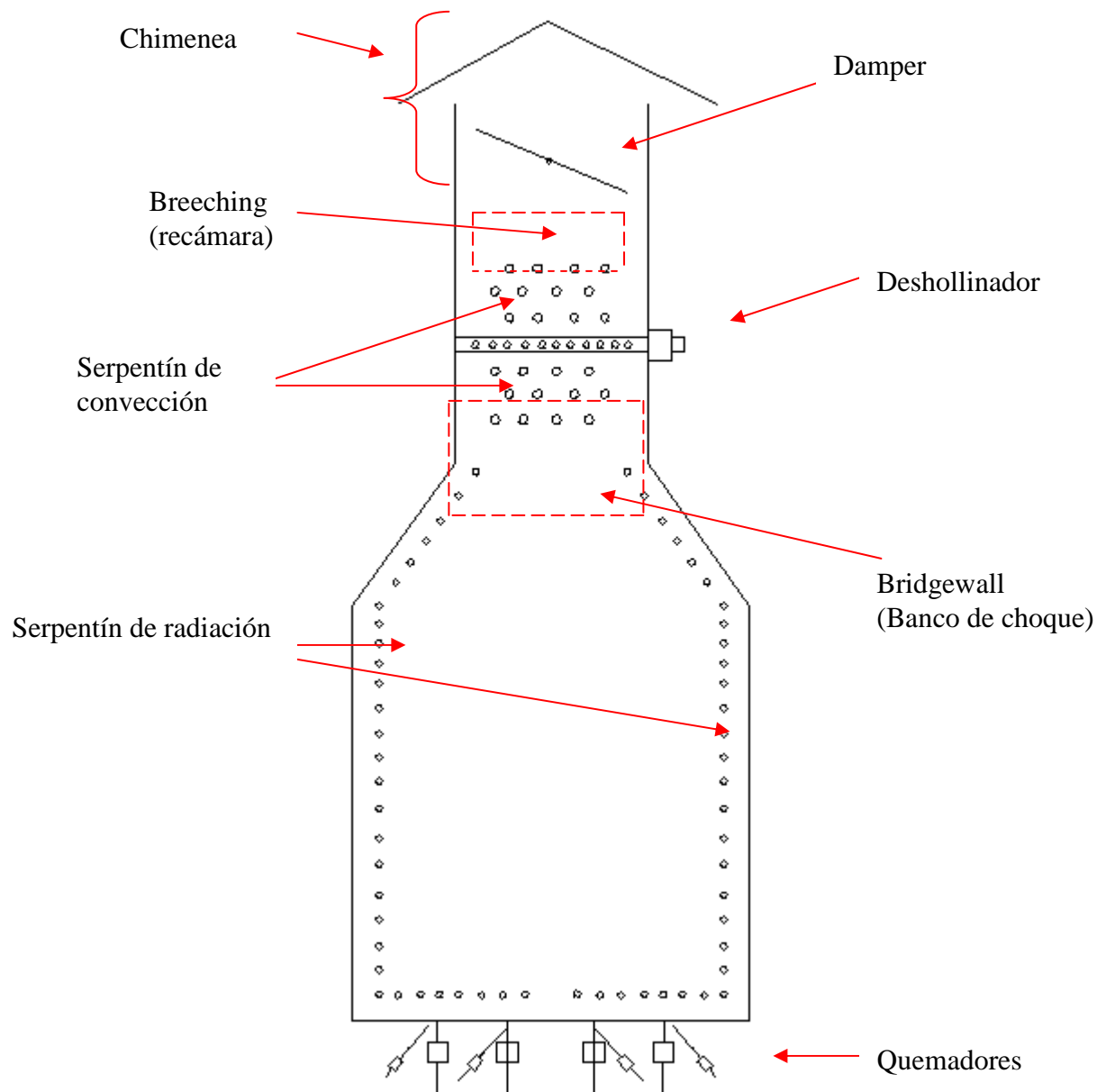


Figura 5. Esquema de la posición de los elementos del horno



Para comprender mejor el funcionamiento del Horno, se trataran sus elementos vistos desde sus subsistemas, así:

2.1.1 Subsistemas del Horno. Los subsistemas presentes en el Horno son:

De transferencia de Calor:

Zona de Radiación:

- **Serpentín de radiación:** el serpentín de Radiación es el encargado de transportar el Petróleo Crudo por la zona de radiación, para proceso de precalentamiento, esta conformado por 60 tubos lisos de material A335 P5, de diámetro 3.5”.
- **Banco de choque (Bridgewall)³:** sitio de un horno en el límite entre la zona de radiación y la de convección. Algunos lo consideran la parte más alta la zona de radiación y otros las primeras filas de la zona de convección. De todos modos, son los tubos que hacen de escudo para el resto de la sección de convección contra la radiación directa, razón por la cual usualmente se fabrican de materiales más resistentes que los otros tubos de la convección (no en nuestro caso). También se le llama arco (arch) o Sección de escudo (Shield section). El término Bridgewall “pared de puente”, para el banco de choque se debe a que en los viejos hornos horizontales se disponía de una pared de puente que separaba físicamente las secciones de radiación y convección.

Zona de Convección:

- **Serpentín de convección:** Este se encuentra en la zona de convección del Horno, allí se realiza la operación de generación de vapor, esta conformado por 24 tubos aleteados (con studs), de material A106 GrB, de 4.5” de diámetro.

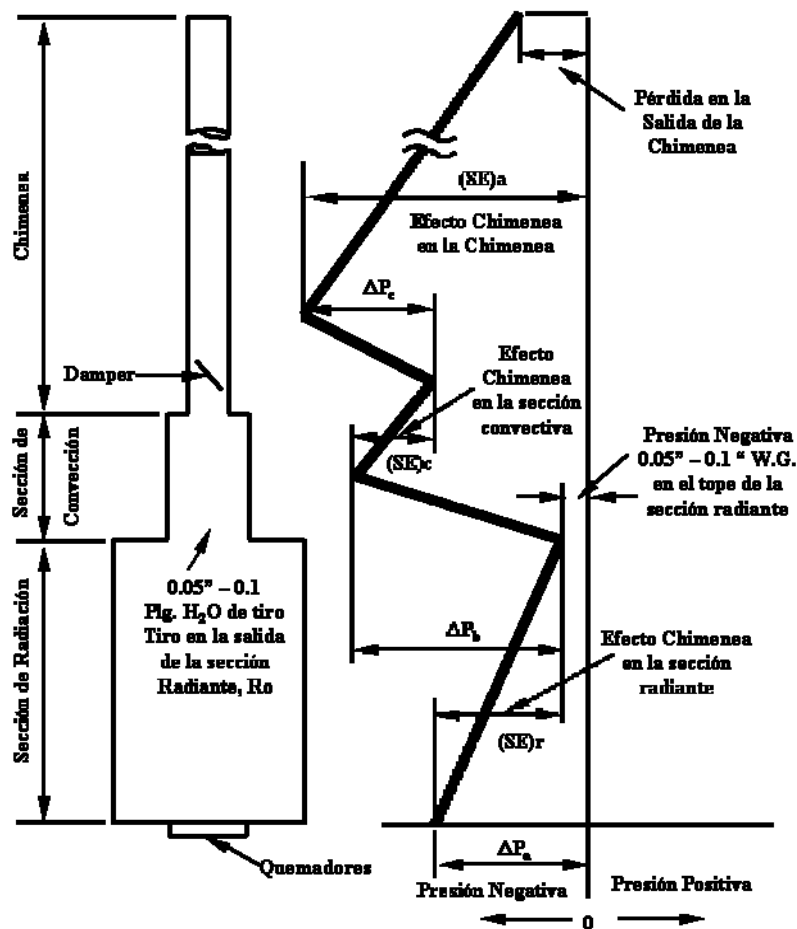
³ Tomado de: Curso de Introducción a la combustión, ICP

- Recámara (Breeching): Es la sección de un horno en donde los gases de combustión son recogidos después del último tramo de convección para su transmisión a la chimenea

Chimenea:

Es un ducto vertical usado para descargar los gases de combustión a la atmósfera, este proceso se da ya que es un horno de tiro natural:

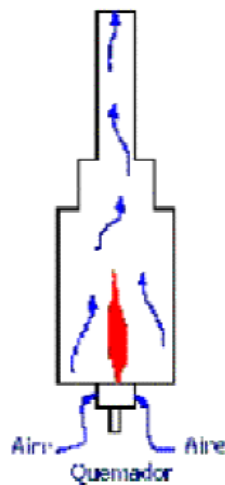
Figura 6. Perfil de presiones de un horno de tiro natural



Fuente: Hornos de proceso-fundamentos. Primera Edición

Una vez efectuada la combustión en los quemadores parte de la energía liberada es tomada por los gases que se formaron durante la combustión, los cuales deben ser evacuados del horno, recuperando la mayor cantidad posible de tal energía. Para efectuar el retiro se manipula el tiro, que es la diferencia en presión que origina el flujo de aire de combustión dentro del quemador y que es causada por la diferencia de densidad entre los productos de combustión calientes en el horno y la chimenea y el aire frío externo al horno.

Figura 7. Flujo de gases en un horno de tiro natural



Fuente: Hornos de proceso-fundamentos. Primera Edición

Horno de tiro natural es aquel en el cual un Efecto de Chimenea (stack effect) induce el aire de combustión y remueve los gases de combustión. La tendencia de los gases calientes a elevarse crea un vacío parcial en el horno. Este sirve para llevar el aire de combustión dentro del quemador. Los hornos de tiro natural son los más sencillos y menos costosos de los hornos disponibles en el mercado. Son también los hornos más frecuentemente utilizados en servicios de calentamiento de fluidos en las refinerías. Igualmente, la cantidad de tiro determina la cantidad posible de flujo de aire a

través de un quemador tomado en el camino de los gases de combustión hacia la atmósfera.

- **Damper:** es un dispositivo, normalmente consistente de una lámina soportada sobre un eje, que introduce una resistencia variable para la regulación del flujo volumétrico de gas o aire. El damper está ubicado en la chimenea del horno (Damper de la chimenea), tal y como se muestra en la figura 5, y es utilizado para controlar el tiro del horno.

Suministro de energía. Normalmente el horno es utilizado para aumentar la temperatura de salida de un fluido de proceso, sea o no que exista cambio de fase, vaporización en la mayoría de los casos.

Comúnmente se establece un lazo de control cuya variable de interés (controlada) es la temperatura de salida del fluido de proceso y la variable manipulada es la cantidad de combustible suministrado al horno.

- **Quemadores:** es el componente que introduce aire y combustible dentro del horno a la velocidad, turbulencia y concentración deseadas para establecer y mantener la adecuada ignición y combustión, proporcionando una llama de tamaño y forma específicas.

Figura 8. Fotografía de uno de los quemadores del horno F1



Figura 9. Suministro de vapor y combustible a los quemadores

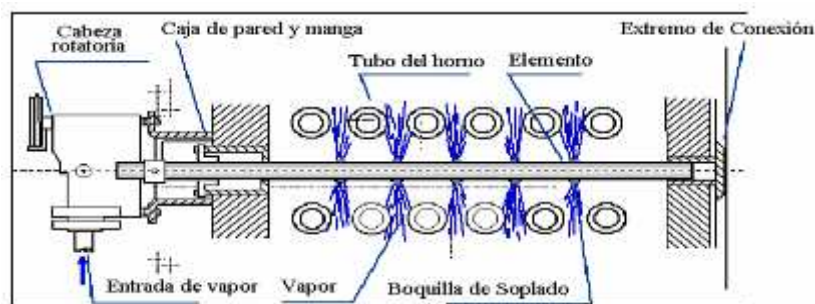


El horno cuenta con cuatro quemadores que trabajan con combustóleo proveniente del fondo de la torre de destilación atomizado con vapor seco. Para que se dé un buen proceso de atomización y combustión es necesario que exista un diferencial de presión entre el vapor y el combustible de (25 – 35) Psig, estos utilizan aproximadamente 100 lb/h de vapor para la atomización del combustible.

Elementos Adicionales. Existen otros elementos importantes asociados al horno ya que trabajan en conjunto con él y desarrollan un importante papel en el desempeño de los procesos de la refinería, estos son el Domo de vapor, la torre despojadora de A.C.P.M y la torre despojadora de Queroseno.

- **Deshollinador**

Figura 10. Esquema de un deshollinador fijo



Fuente: TECVAL S.A, Manual deshollinadores para calderas

En la figura se muestra un sistema de deshollinadores⁴, estos son dispositivos para la limpieza la cual se hace con chorros de vapor a alta velocidad (por lo general vapor de media presión (MP:medium pressure) que se dirigen hacia los tubos y / o hacia abajo a lo largo de los tubos para desalojar los depósitos.

Dependiendo de la cantidad de partículas acumuladas, el deshollinado puede causar un chorro de humo y se debe tener en cuenta el impacto en el medio ambiente, por ejemplo, cuando el viento sopla hacia las áreas pobladas.

No se debe utilizar vapor húmedo en regiones de temperatura sea por debajo de 400 – 500°C. Esto se hace con el fin de prevenir erosión excesiva debido a las gotas sin evaporarse, así como para evitar choques térmicos. Es esencial purgar el deshollinador cuando no se esté utilizando. En este caso es prevenida la posible corrosión por punto de rocío ácido causado por el ingreso de SO₂/SO₃ que contiene el gas de chimenea que entra a los internos del deshollinador. La duración del período de limpieza puede ser ajustada / optimizada al observar la temperatura de entrada a la chimenea del gas de combustión durante la operación. Los deshollinadores deben utilizarse inmediatamente después de la arrancada de la planta para prevenir que los sólidos se tornen muy pegajosos lo que los hace difícil de retirar.

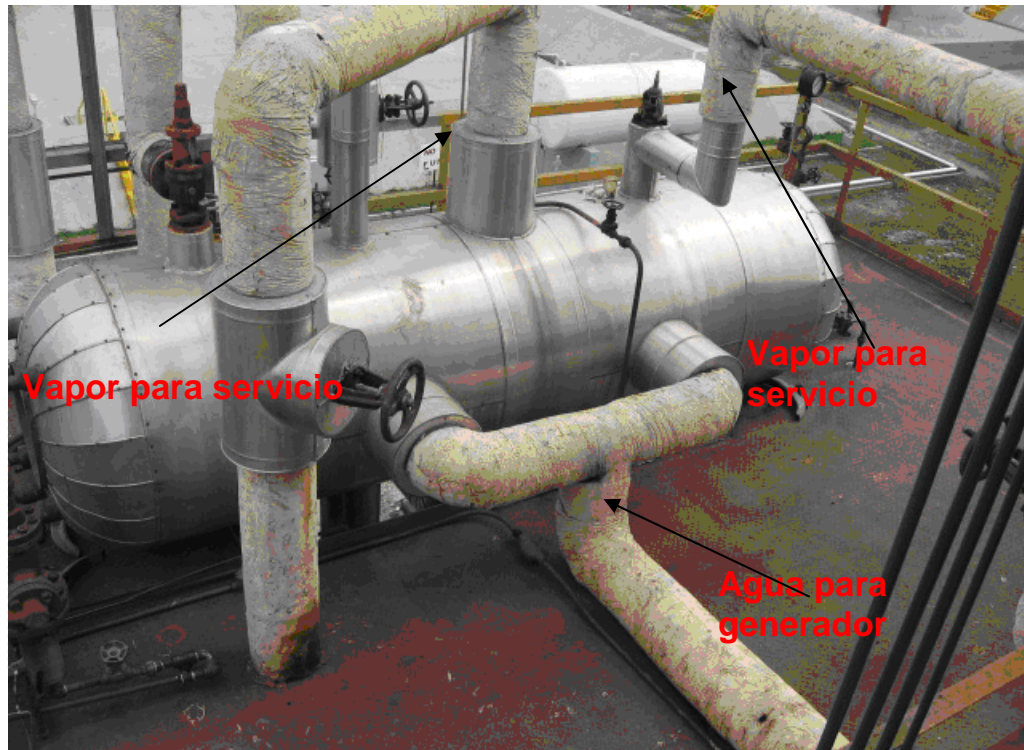
El objetivo del deshollinador es remover el sucio u hollín de las superficies de transferencia de calor del horno, a fin de mantenerla limpia, para obtener un óptimo desempeño de transferencia de calor. La limpieza o deshollinado obedece a una secuencia que va en la dirección del flujo de gases dentro del horno que va aguas abajo, hasta la chimenea. La operación y manejo del proceso lo hace por lo general un programador eléctrico o electrónico de secuencia. La limpieza se debe hacer una vez al día o con la mayor

⁴ Tomado de: Manual Deshollinadores para Calderas, TECVAL S.A.

frecuencia posible, si se queman combustibles que generan mucho hollín y cenizas. El consumo de vapor del sistema de deshollinado es de 500 lb/h.

- **Tambor de Vapor**

Figura 11. Fotografía del Domo de Vapor



El domo de vapor esta construido en material SA-515 Grado 70 tiene un diámetro de 36 pulgadas y una longitud de 10 pies, esta diseñado para una presión de 250 psig, incluyendo estructura de soporte, válvulas de seguridad, venteo, entrada de agua, salida de agua y vapor, columnas de nivel, cuenta también con dos cabezas de acceso de 12 y 16 pulgadas y purificador de vapor.

En el Tambor de vapor se recibe agua de alimentación, bombeada externamente, esta diseñado para dar cabida al volumen de vapor requerido

en un conjunto con el equipo de combustión y sus sistemas de control de nivel asociados. En resumen, la capacidad de producción de vapor es función del volumen del tambor y del sistema de combustión. En el tambor de vapor se realizan las siguientes funciones, principalmente:

- ← Propiciar el espacio suficiente para facilitar la separación agua-vapor en el proceso de evaporización, para la producción de vapor la zona de convección y para hacer estable el proceso.
- ← Proporcionar un espacio para colectar el volumen de vapor necesario para el proceso requerido.
- ← Mantener un volumen adecuado de agua para la alimentación a los tubos que entran a la zona de convección en el horno y garantizar un flujo continuo a los tubos generadores de vapor.
- ← Disponer el área suficiente para acomodar la llegada de los tubos evaporadores y la salida de los tubos descendentes. El volumen del tambor de vapor facilita también la circulación natural de la zona de convección (zona de generación de vapor).
- ← Facilitar un espacio para adecuar la pureza del vapor
- ← Disponer de un espacio para el proceso de reacción de los químicos con los elementos indeseables del agua de alimentación del domo.

Debido a que el vapor producido en la zona de convección debe ser lo más puro y seco posible, el tambor de vapor tiene instalado algunos elementos o accesorios llamados los internos del tambor, encargados de retener las partículas de agua o humedad y otros materiales que el vapor pudiera arrastrar hacia los sistemas que requieren vapor. Estos internos tienen forma de bafles.

La calidad del vapor es el contenido de humedad y es una variable de alto valor para el proceso que depende de dos factores: diseño y operación.

Desde el punto de vista del diseño, depende de la presión de diseño, del tamaño del tambor, de su longitud y diámetro, el volumen del vapor generado.

Desde el punto de vista de la operación depende de la estabilidad del control de nivel de agua en la zona de convección del horno, de la presión de operación, de la carga de producción de vapor, del tipo de carga que sirve y de la calidad química del agua.

- **Características del Tambor de vapor⁵.** En el tambor de vapor se procesa el vapor producido en la zona de convección del horno, este aloja en su interior los elementos necesarios para lograr el control químico del agua y la calidad del vapor.

Otros elementos internos del tambor de vapor son: la línea de agua de alimentación, instalada paralelamente al eje central del cilindro del tambor; la tubería de dosificación de químicos, que consta de un tubo perforado a lo largo e igualmente paralelo al eje central del vapor y permite una mezcla de los químicos con el agua de alimentación dentro del tambor.

Existe también una línea de salida de agua: la línea de extracción de agua o control de calidad, llamada purga continua del sistema. El significado de esta es importante para el tratamiento químico interno dentro de la caldera y va a incidir en la calidad final del vapor. Dentro del tambor de vapor ocurren reacciones químicas para depurar la calidad del agua. Estas reacciones generan lodos que se mantienen en suspensión que deben ser evacuados para mantener niveles controlables de contaminantes dentro del domo y minimizar los problemas de incrustaciones o corrosiones en las tuberías.

⁵ Tomado de: Operación de Calderas industriales, Gonzalo Rodríguez Guerrero

- **Cámara de Secado del Tambor de Vapor.**

Figura 12. Corte interno del Tambor de vapor

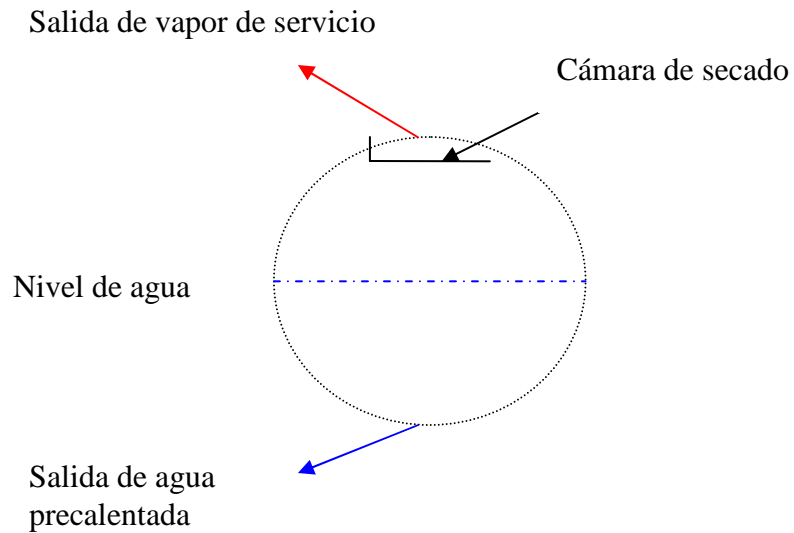


Figura 13. Accesorio de la cámara de secado en el domo de vapor



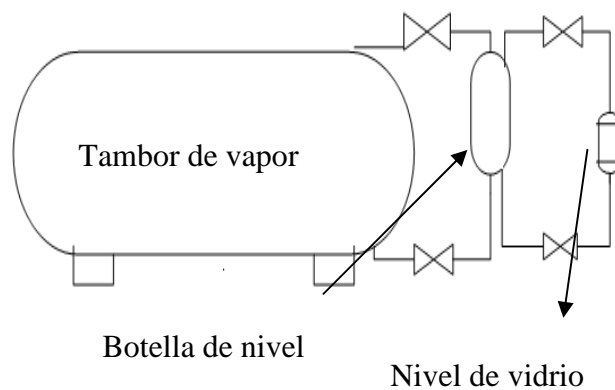
La figura 12 muestra el corte del tambor de vapor, detallando la cámara de secado en la parte superior como parte de los internos dispuestos para pulir el vapor que sale de la caldera. El vapor, a su paso por esta zona, roza el contorno corrugado de la lámina en donde las partículas indeseables que

acompañan el vapor, al tocar las paredes, se pegan por diferencia de temperatura con la lámina. La salida de esta cámara de secado distribuye el vapor hacia los sistemas que lo requieren.

Los internos dentro del tambor son los encargados de limpiar y secar el vapor asegurando que el proceso de recalentamiento en el sobrecalentador se haga sin incrustaciones en sus tubos.

El nivel de agua del tambor de vapor, como elemento del control de calidad del vapor en la zona de generación de vapor tiene un visualizador de vidrio para permitir observar el nivel y sus variaciones dentro del tambor.

Figura 14. Botella de nivel del tambor de vapor



Este nivel de vidrio permite ver lo que esta sucediendo en el sistema centralizado del control, se encuentra instalado en una botella de nivel. Los transmisores de nivel conectados allí, permiten enviar la información de la señal con estabilidad en la medida. Esto se logra por la conexión en serie desde una botella estabilizadora de nivel.

La botella de nivel entonces sirve como amortiguador o estabilizador de las variaciones de nivel que ocurre dentro del tambor por acción de la evaporación y de los cambios de carga en la producción de vapor. El control de nivel toma valores estables de transmisor para ser enviados a la sala de control, así que, aunque existan variaciones o irregularidades de nivel en el tambor, el control de nivel, que comienza en este transmisor, reajusta finalmente la válvula de administración de agua a la zona de generación de vapor sin irregularidades.

- **Torre Despojadora de A.C.P.M (D2).** Esta torre tiene 4 platos perforados de 15" de diámetro, espaciados a 1 ft, recibe líquido proveniente del plato 5 de la torre D-1 sobre el plato superior y por el fondo sale el producto Diesel. Por el fondo de esta torre despojadora de Diesel se inyecta vapor de agua con el fin de disminuir la presión parcial de los hidrocarburos y así poder remover los livianos más fácilmente. Los vapores de hidrocarburos livianos salen por la cima de la torre D-2 para retornar al plato 10 de la torre D-1. La función de esta torre es retirar los volátiles del Diesel para ajustar su especificación de punto inicial de ebullición y punto de inflamación. En la actualidad se encuentra cerrada la entrada de vapor de agua, de modo que esta columna no desempeña su función de diseño. Esta utiliza aproximadamente de 600 a 900 lb/h de vapor para realizar su proceso.

- **Torre Despojadora de Keroseno (D3).** Esta torre posee 4 platos perforados de 13" de diámetro, espaciados a 1 ft, recibe líquido proveniente del plato 13 de la torre de destilación D1 sobre su plato superior y por el fondo sale el Queroseno producto. Por el fondo de esta columna despojadora de Queroseno se inyecta vapor de agua con el mismo fin de disminuir la presión parcial de los hidrocarburos y así facilitar su despojo. Los vapores de hidrocarburos livianos salen por la cima de la torre D-3 para retornar al plato 14 de la torre de destilación D1. La función de esta torre es retirar los volátiles del Queroseno para ajustar su especificación de punto inicial de ebullición y punto de inflamación. En la actualidad se encuentra cerrada la entrada de vapor de agua, de modo que esta columna no desempeña su función de diseño. Esta utiliza aproximadamente de 600 a 900 lb/h de vapor para realizar su proceso.

- **Líneas de Suministro.** Las líneas de suministro son consideradas un elemento adicional del Horno ya que por ellas circula tanto agua desde el suministro, hasta la generación de vapor y luego de generado el vapor este circula por las líneas de suministro hasta el punto en donde se utiliza para operación de los equipos que lo necesitan.

Figura 15. Líneas de Suministro en la Refinería



Las líneas de suministro de la refinería de orito putumayo, son de material A106 GrB, recubiertas con un nuevo material aislante térmico llamado MCO-T, de estructura laminar conformado por un constituyente principal llamado perlita extendida, aplicado en capas alternas, con fibras orgánicas hasta obtener el espesor diseñado.

Presenta excelente resistencia mecánica, excelente resistencia a altas temperaturas, muy baja permeabilidad al agua, alta adherencia sobre substratos metálicos, alta dureza, buena resistencia al desgaste. Posee buena resistencia a la intemperie, resistente a ácidos débiles, sales alcalinas, derivados del petróleo, solventes aromáticos. El MCO-T pertenece a una familia de materiales constituidos como producto tecnológico protegido por el secreto industrial a favor de ECOPELROL S.A.

- Especificaciones del MCO-T

Constituyente Principal: ECP-2000

Genérico: Polímero orgánico tipo epóxico

Catalizador: Poliamida

Color: Blanco

Densidad: 1.3 gr/cm³

Sólidos por volumen: 100%

Sólidos por peso: 100%

Punto de chispa copa abierta: 78°C

Tiempo de vida útil de la mezcla: 1 hora a 25°C

Tiempo de secado al tacto: 1 hora a 25°C

Tiempo de secado: 12 horas a 25°C

Tiempo al cual alcanza la máxima resistencia mecánica: 7 Días después de aplicado

- Fibra Orgánica:. Tela de fique, calibre 1, calidad 1, tejida, en ancho de 500 mm, con refuerzo lateral; de dos hilos en la urdimbre y dos hilos en la trama, tratada y protegida con esmalte rojo (tipo Acualux®, ref. 1123).

- Material Cerámico Amorfo. Polímeros inorgánicos en polvo tipo cerámicos amorfos de óxidos metálicos, de nombre comercial: Green Grain® con tamaño de partícula no mayor a 30 μm .

- MCO-T

Una vez ha curado la mezcla se obtendrán las siguientes características:

Resistencia Mecánica: a presión interna de 234 Kg/cm².

Conductividad térmica: 0.06 W/cm²K

Adhesión (según ASTM C633): 200 Kg/cm²

Rendimiento Promedio: 1.6 galones/m²; para un espesor de ~ 5 mm en superficies planas.

- Acabado superficial. Para el acabado superficial -por protección y estética final- se debe aplicar una capa de poliuretano de altos sólidos, de rendimiento 20m²/gl; aplicado con pistola o brocha

Figura 16. Fotografía del horno y el tambor de vapor



→ Tambor de vapor

2.2 RESUMEN DE LAS CARACTERISTICAS DEL HORNO F1.

Cuadro 1. Características del Horno F1

Subsistema	Componente	Elementos	Capacidad
De transferencia de calor	Serpentín de Radiación	60 Tubos lisos de 3,5" y 15Ft de longitud	38000 Lb/Hr de precalentamiento
	Serpentín de Convección	24 Tubos aleteados (con studs) de 4,5" y 12 Ft de longitud	2500-3000 Lb/Hr de generación de vapor
	Damper	1 en material 8Cr-Ni	Restricción salida de los gases de combustión o apertura total
Suministro de energía	Quemadores	4 Quemadores John Zinc, instalados en el piso del horno, a combustóleo	8,5 MBtu/hr
Elementos adicionales	Deshollinador	2 Marca Diamond con 2' 8" de recorrido	100 lb/h de vapor
	Tambor de vapor	1 en ASTM 515 Gr 70, de 36" de diámetro y 10' de long	presión de diseño 250 psig, presión de trabajo 120 psig

En el cuadro 1. Se relacionan los componentes más importantes del Horno con sus características principales.

3. INSPECCIÓN Y ANÁLISIS DE INTEGRIDAD DEL HORNO F1.

Con el fin de determinar el estado mecánico y metalúrgico del horno, de acuerdo con el objetivo trazado de Realizar una planificación de tareas para recuperar el sistema de generación de vapor del Horno F1 en la refinería, se realizó la inspección de integridad según taller de inspección basada en riesgo "RBI", llevado a cabo en junio de 2007 en la Superintendencia de Operaciones Sur, Orito Putumayo.

3.1 METODOLOGÍA RBI

La metodología RBI permite obtener tres productos claves:

- ← Plan de inspección para la parada de planta programada
- ← Ventanas operativas de integridad
- ← Recomendación para mejoramiento de la integridad

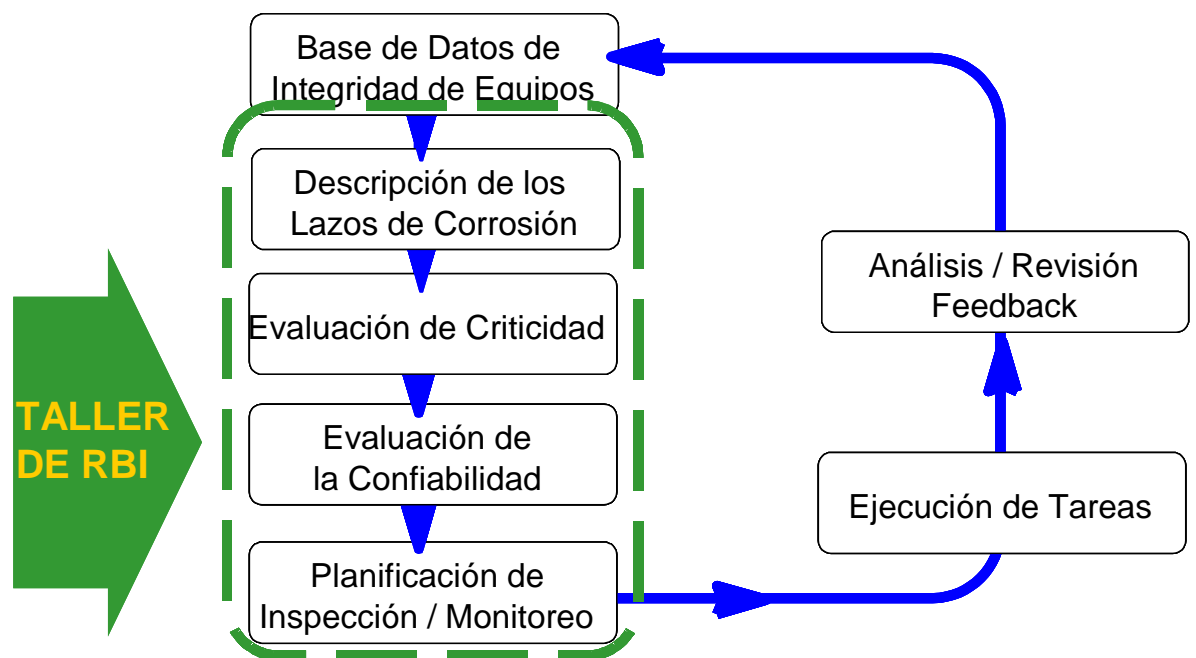
Estos productos se obtienen mediante el análisis detallado de los posibles modos de falla de cada uno de los componentes de la planta. En este análisis se evalúa el riesgo y el impacto que tiene una posible falla en los aspectos Económico, Salud, Seguridad y Medio Ambiente.

El objetivo principal de la metodología es asegurar la integridad de los equipos estáticos durante la corrida de la planta, además de obtener beneficios económicos por la prevención paradas no programadas, efectividad y menor duración de la parada de planta.

La metodología para RBI transferida a ICP por la empresa "Shell Global Solutions" en el marco del proyecto de Optimización de Refinerías, consiste

en desarrollar paso a paso cada actividad hasta obtener el Plan de inspección y de monitoreo para los equipos de la planta, tal como se representa en la Figura 10. Una vez ejecutado el plan se debe realizar una etapa de revisión y análisis de resultados con el fin de retroalimentar el estudio y mantenerlo actualizado.

Figura 17. Diagrama de Flujo del RBI.⁶



FUENTE: TALLER RBI, ORITO PUTUMAYO, ECOPEPETROL S.A

3.2 RESULTADOS DE LA INSPECCIÓN

Para mayor claridad en los resultados de la inspección, se detallan por zonas inspeccionadas como se muestra a continuación

⁶ Tomado de: Taller RBI, Orito Putumayo, ECOPEPETROL SA. 2007

3.2.1 Subsistema de Transferencia de Calor

- **Inspección e Integridad de la Zona de Radiación.**

- ◀ **Serpentín de Radiación:** La tubería de la zona de radiación se encontró en buenas condiciones, sin evidencias de deformación diametral, ni pérdida severa de material sobre la superficie externa.
- ◀ **Banco de choque:** Los tubos superiores no se encuentran totalmente apoyados sobre los soportes, esto se debe a una leve deformación o pandeo de los tubos. Este fenómeno se observó en los cuatro tubos superiores de la pared norte y sur.

Figura 18. Tubos de la zona de radiación parte superior por fuera de su soporte



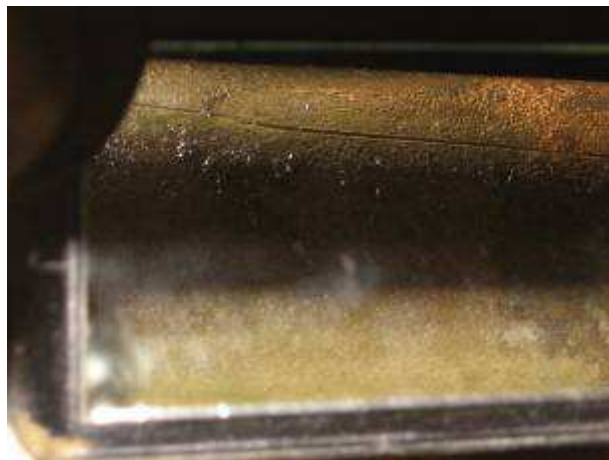
- ◀ **Soportes:** en la zona recta donde se apoya la cuña y las cuñas presentaron pérdida severa de material por un fenómeno de corrosión generada por los depósitos de sales y cenizas de combustión que contienen azufre, que en presencia de humedad, al combinarse, producen el fenómeno de sulfidación, este efecto también se observó sobre la superficie superior de algunos tubos, induciendo un leve picado.

Figura 19. Soportes y Cuñas con Presencia de Sulfidación



El tercer tubo contado de abajo hacia arriba en la pared sur (tubo 28) presenta una entalla, la cual esta ubicada en la zona media y con vista a la pared de refractario. La longitud aproximada de este defecto es de 80 cm. y su profundidad es variable. La morfología a nivel macroscópico permite indicar que este defecto fue producido durante la fabricación y/o transporte de la tubería, más no durante la operación o por degradación en servicio

Figura 20. Entalla en tubo 28 pared sur



- Antes de la limpieza se observó sobre la superficie externa de los tubos acumulación de lodos provenientes de productos de combustión, desprendimiento de refractario de la zona de convección, y entrada de agua lluvia. En la tubería de choque se encontró una zona con evidencias de golpe directo de llama ubicado hacia la zona central del horno, cara inferior de los tubos. Posterior al proceso de limpieza se observó que no había formación de capas gruesas de óxidos que indiquen sobrecalentamiento de la tubería.
- La tubería de la zona de radiación y de choque posee espesores de pared superiores a 5.0 mm. (0.197 pulg.). Según los cálculos realizados de acuerdo con el API RP 530, el espesor para retiro de tubería es de 3.2 mm. (0.126 pulg.).
- El piso y las paredes laterales de la zona de radiación del horno presentaron humedad, fisuramiento del concreto refractario y deterioro de las hoyas de los quemadores.

Figuras 21a. Residuos de refractario en el piso y superficie de olla deteriorada

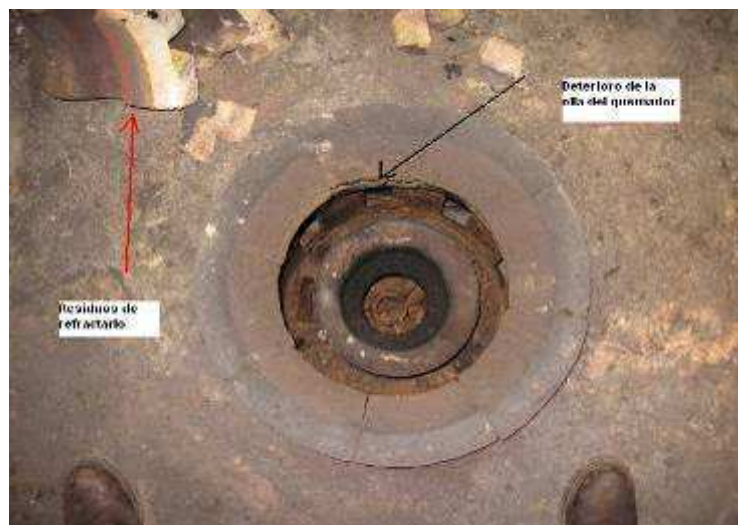


Figura 21b. Pared lateral con refractario resquebrajado



- No se hallaron termocuplas para medición de temperatura de piel de tubos en la zona de radiación, ni en la zona de choque.
- Se encontraron termopozos para medición de temperatura de gases tanto en la cadera del horno como en las paredes de radiación. Estos termopozos deben sobresalir 155.4 mm. (6") desde la pared del refractario, con el objeto de medir la temperatura de los gases y no de la llama. En la cadera, se encontró en la pared sur un termopozo con alto nivel de desgaste (zona oriental) y otro con una longitud exagerada (zona occidental).

Figura 22. Termopozo en pared de zona de radiación



➤ Se dispone de facilidades para la instalación del medidor de oxígeno y del medidor de presión de tiro, indispensables para un adecuado control de la combustión, seguridad de la operación e integridad estructural del equipo.

• Inspección e Integridad de la Zona de convección

➤ Serpentín de la zona de convección (con “studs”): En la parte superior existen los orificios en la placa tubo para la instalación de cuatro tubos faltantes para generación de vapor en el horno

➤ se encontraron bastantes residuos de refractario y productos de combustión. Con el agua lluvia estos depósitos se transforman en un lodo que si poseen compuestos de azufre se transforman en un medio altamente corrosivo para los tubos, adicionalmente estos depósitos obstruyen la salida normal de gases, presionan la cabina del horno y disminuyen la eficiencia térmica.

Figura 23a. Pared lateral de la zona de convección, presencia de refractario quemado y depositado. 23b. Tubería interna



- **Inspección e Integridad de la Chimenea.** En el primer anillo de la lámina de la chimenea se hallaron bajos espesores de pared en la zona sur. Este fenómeno se puede deber a presencia de laminación o corrosión por productos de combustión y humedad.

- **Inspección e Integridad del subsistema de Suministro de Energía.**

- Los quemadores están diseñados para quema de combustible líquido (fuel Oil) y atomización con vapor generado en el mismo equipo. Actualmente, el sistema de generación de vapor sobrecalentado se encuentra desconectado.

- Las puntas de los quemadores poseen seis orificios de salida. Durante la inspección se encontraron tres puntas de quemadores con orificios de 1/16 pulg. y una punta con orificios de 1/8 pulg. Solo existe un medidor de presión común para los cuatro quemadores y no hay regulación individual de la presión, en los casos en que existen orificios de diferentes diámetros, la combustión se vuelve muy inestable, adicionalmente si los orificios son de gran tamaño, se reduce la presión y hay combustión deficiente produciendo postcombustión y derrame de combustible en la boquilla.

Figura 24. Diferencia de tamaños de los orificios de los quemadores usados para la combustión



- **Inspección e Integridad de los Elementos Adicionales.**

Deshollinadores: están instalados en la zona intermedia del sistema de convección, actualmente se encuentran fuera de servicio.

Figura 25. Vista externa del sistema de Deshollinado



➤ Tambor de vapor: fue inspeccionado en su interior, se realizó inspección visual, líquidos penetrantes (PLP) y medición de espesores de pared. Se halló una fisura en la soldadura de unión de los internos con el cuerpo del tambor. Adicionalmente se encontró corrosión por picado en el fondo y socavadura en las uniones del cilindro con los cap especialmente en la zona oriental.

Figura 26. Superficie del piso del domo de vapor, presenta socavadura y picado



Figura 27. Grieta encontrada en el interior del domo, esquina sur de la unión entre el domo y accesorio interno



- Torres Despojadoras de A.C.P.M y Keroseno

Figura 28. Torres Despojadoras A.C.P.M y Keroseno (D2 y D3)



- El foil de aluminio presentó pérdida del aislamiento en la parte inferior y esta completamente deformado y deteriorado.

Figura 29. Deformación y pérdida del recubrimiento de la parte inferior del foil



- El área de sello de la brida ubicada en la zona superior del equipo se observó en buenas condiciones, sin evidencia de daño.

Figura 30. Estado del la brida de la Despojadora D2



El cuerpo presenta corrosión general leve sin acumulación de depósitos.

Figura 31. Estado interno de la Despojadora D2



- Las uniones de las boquillas con el cuerpo no presentan deterioro ni socavaduras por corrosión.

Medición de espesores. El cuerpo presenta un espesor promedio comprendido entre 6.08 y 6.99 mm. (1/4 pulg.).

Internos. Tanto los platos como las láminas de sello, los tubos guías y las canaletas presentan corrosión generalizada. En el interior entre el plato y la lámina de sello se hallaron abundantes productos de corrosión. La bandeja inferior esta perforada. Las válvulas que regulan el paso de vapor están fabricadas en acero inoxidable y acero al carbono las cuales presentan mayor deterioro por corrosión. La mayoría de ellas no existen.

Figura 32. Estado de los internos de la despojadora D2



Figura 33. Estado de la brida en la despojadora D3



Inspección visual interna. El cuerpo presenta corrosión general leve sin acumulación de depósitos

Figura 34. Estado interno de la Despojadora D3



➤ Las uniones de las boquillas con el cuerpo no presentan deterioro ni socavaduras por corrosión.

Medición de espesores:

➤ El cuerpo presenta un espesor promedio comprendido entre 6.29 y 6.99 mm. (1/4 pulg.).

➤ Internos: tanto los seis platos como las láminas de sello, los tubos guías y las canaletas presentaron corrosión generalizada. En el interior entre el plato y la lámina de sello se hallaron abundantes productos de corrosión. La bandeja inferior esta perforada. Las válvulas que regulan el paso de vapor

están fabricadas en acero inoxidable y acero al carbono las cuales presentan mayor deterioro por corrosión. La mayoría de ellas no existen.

Figura 35. Estado de los internos Despojadora D3



- **Inspección e integridad de las líneas de suministro.**

En general el estado actual del recubrimiento es bueno, se presentan algunos defectos en algunos codos y tramos pequeños, como se muestra a continuación.

Figura 36. Fotografía del estado del recubrimiento (partido)



Figura 37. Daños del MCO-T en las líneas de Fuel oil y Acpm hacia los intercambiadores



Figura 38. Estado del MCO-T cerca de las bridas de alimentación del domo de vapor



Figura 39. Estado del MCO-T cerca a la brida de alimentación de la torre despojadora de Acpm



Figura 40a y 40b. Líneas de transporte de Vapor desnudas debido a que el recubrimiento se ha partido y caído



Cuadro 2. Resumen de las fallas encontradas en la inspección basada en el RBI.

Zonas Subsistema	Elemento	Fallas encontradas
Radiación	Serpentín	Pandeo en los cuatro tubos superiores (Zona de Choque)
	Soportes	Presencia de Sulfidación
	Refractario	Resquebrajamiento, caída
	Termocuplas	Ausencia, mal dimensionamiento
	Medidores	Ausencia de medidores de oxígeno y de tiro

Zonas Subsistema	Elemento	Fallas encontradas
Convección	Serpentín	Ausencia de los cuatro tubos aleteados superiores
	Refractario	Resquebrajamiento, caída
Chimenea	Cuerpo	Laminación en el primer anillo del cuerpo
Suministro de Energía	Quemadores	Ollas de refractario fracturado, orificios sin estandarizar
Elementos Adicionales	Deshollinador	Fuera de Servicio
	Tambor de Vapor	Presencia de Socavadura, picado y grieta
	Torre de A.C.P.M	Aislamiento deformado, corrosión general leve, ausencia de válvulas de regulación, internos corroídos
	Torre de keroseno	Corrosión generalizada de los internos, corrosión leve en el cuerpo
	Líneas de suministro	Recubrimiento partido y resquebrajado en algunos tramos y codos de las líneas de suministro

4. PROTOCOLO PARA PUESTA A PUNTO DEL HORNO F1

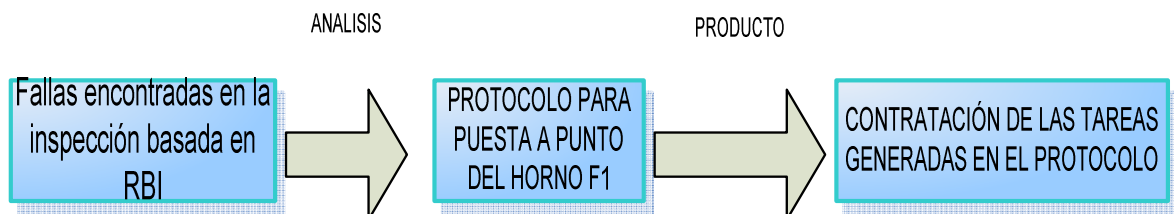
Con el fin de recuperar el sistema de generación de vapor y en general lograr la puesta a punto del Horno F1, se desarrolla el siguiente protocolo, que adicional a cumplir el objetivo de diseñar el planeamiento de optimización del horno, busca determinar los procedimientos adecuados en el momento de hacer el mantenimiento de el equipo, la reparación y la puesta en marcha después de realizar las tareas requeridas.

4.1 METODOLOGÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL PROTOCOLO PARA PUESTA A PUNTO DEL HORNO F1.

El protocolo para puesta a punto del Horno F1 y recuperación del sistema de generación se realiza con el fin de obtener un listado de operaciones para corregir las fallas encontradas en la inspección basada en RBI; ver resumen de la tabla número dos.

Este producto se obtiene mediante el análisis detallado de las fallas encontradas en la mencionada inspección; de la cual se generan las recomendaciones que se listan en este capítulo

Figura 41. Diagrama del proceso de construcción del protocolo



Un requisito para los trabajos de campo es la disponibilidad de recurso humano y equipo calificado para la ejecución de las tareas, para la contratación se hace necesario la exigencia de mano de obra calificada y certificada.

4.2 PLANEAMIENTO PARA PUESTA A PUNTO DEL HORNO F1.

Para el planeamiento para puesta a punto del Horno F1, es necesario definir las tareas requeridas y a su vez el personal externo a la superintendencia que se necesita contratar, maquinaria, equipos, insumos y presupuesto.

Descripción del Personal. En la puesta a Punto del Horno F1, se debe contar con un grupo interdisciplinario, que participe activamente en la parada de planta de tal manera que se cumplan a fin las tareas designadas en la tabla anterior; a continuación se describe el personal necesario y el rol a desempeñar.

a. Ingeniero Encargado de Planta: es el ingeniero de planta que esta a cargo de la refinería en general, su labor en la parada programada es facilitar los permisos de las ordenes de trabajo, esta a cargo de las funciones de seguridad del personal, la parada y puesta en marcha de la planta.

b. Ingeniero Inspector: es el encargado de inspeccionar los equipos en general durante la parada programada de igual manera esta a cargo de la inspección de las labores preestablecidas, el cumplimiento de las tareas de reparación y supervisar el estado del sistema luego de efectuar el mantenimiento correctivo. Para la próxima parada Programada se debe contar mínimo con cinco Ingenieros Inspectores.

c. Operarios: son los encargados cotidianamente de operar los equipos en la refinería, manejan los históricos de operación y mantenimiento de estos mismos.

d. Soldadores: personal calificado en el área de soldadura, se requieren dos soldadores para las tareas de reparación de la parada programada.

e. Técnico Refractario: encargados de la instalación y reparación de refractario, para la parada de planta se necesitan mínimo seis técnicos refractarios.

f. Tuberos: son los Técnicos encargados de mantener, operar, y acondicionar las líneas de suministro, transferencia, y en general todo lo que tiene que ver con tuberías dentro de la refinería, son requeridos mínimo 6 tuberos.

g. Paileros: son los Técnicos encargados de mantener, operar y acondicionar las estructuras y equipos de manejo de energía, y en general todo lo que tiene que ver con las tareas de asociadas a ellos, son requeridos mínimo 6 paileros.

h. Ayudantes Técnicos Generales: son los encargados de las tareas generales dentro de parada, estas tareas son entre otras la limpieza general, el transporte de los insumos a los lugares donde se requieren y dar apoyo a los demás trabajadores involucrados en la parada para mantenimiento correctivo, para la próxima parada de planta se debe contar mínimo con 10 ayudantes técnicos generales.

Maquinaria y equipo

Cuadro 3. Descripción de la maquinaria y equipo para parada de planta

EQUIPO	FUNCIÓN	TIEMPO
Montacarga	Transporte de Tubería y materiales en general desde el almacén hasta los lugares donde se necesitan	1 día
Grúa	Elevación de la Tubería y materiales a la plataforma de la zona de convección	1 día
Andamios	Presta seguridad a los trabajadores que realizan trabajos en alturas y de igual manera sirve para tener acceso a lugares elevados	duración de la parada
Equipo de Soldadura Smaw	Equipo para realizar las tareas de soldadura de tipo Smaw (Recomendada)	3 días
Equipo de Inspección	Equipo utilizado para la inspección de las tareas realizadas: ellos son Equipo de Radiografía Industrial para supervisar los cordones de soldadura y Medidor de espesores por ultrasonido	
Hidrojet	Equipo para limpieza con Chorros de agua a presión	3 días
Pulidora	Su función es dar acabados a las superficies de tuberías y soldaduras que lo requieran	Duración de la parada
Gratas	Limpieza y pulido de superficies	Duración de la parada
Herramienta General	Es la herramienta básica que se requiere para realizar las tareas programadas	Duración de la parada

Insumos. Los insumos básicos con que se debe contar para la puesta a punto del Horno son:

- a. Cuatro tubos aleteados en material A106 Gr B de 4.5" de diámetro nominal y 12' de longitud
- b. Cinco codos en material A234 WPB, Sch 40.
- c. Treinta soportes en material Hk 40
- d. Electrodo AWS E7010 para cordón de raíz en la soldadura de los tubos a reinstalar con los codos

- e. Electrodo AWS E7018 para acabado de soldadura en los tubos a reinstalar.
- f. Platinas ciegas para cierre de las líneas de suministro.

Tareas requeridas. Las tareas requeridas se obtienen de los resultados de la inspección realizada, estas se listan a continuación.

Cuadro 4. Detalle de las tareas y personal requeridos en la parada de planta de planta para puesta a punto del Horno F1.

ZONA	TAREA	PERSONAL ENCARGADO
PLANTA EN GENERAL	Parada de Planta para mantenimiento Correctivo	Ingeniero Encargado de Planta, Operarios
*QUEMADORES	Instalación de Ciegos en las Líneas de suministro de Combustible y Vapor	Operarios, Tuberos
	Desmante de Los Quemadores	Paileros
	Reparación de la Olla del Quemador	Técnico Refractario
	Inspección General	Ingeniero Inspector
*ZONA DE RADIACIÓN	Instalación de Ciegos en las Líneas de suministro de Crudo a las líneas	Operarios, Tubero
	Reinstalación de Soportes de tubería dañados (soldadura)	Paileros, Soldador
	Reparación del Refractario de las paredes	Técnico Refractario
	Inspección General	Ingeniero Inspector
	Prueba Hidrostática del Serpentín de Radiación	Ingeniero Inspector
ZONA DE CONVECCIÓN	Instalación de Ciegos en la Líneas de suministro de agua al serpentín de generación	Tuberos
	Apertura de las Paredes laterales para Acceso a el serpentín de Generación de Vapor	Operario, Pailero
	Limpieza General	Ayudante Técnico General
	Limpieza Profunda	Técnico Hidrojet
* REINSTALACIÓN DE LA TUBERIA DEL SERPENTIN DE GENERACIÓN DE VAPOR.	Instalación Tubos faltantes	Tubero
	Soldadura de los tubos faltantes	Soldador
	Reparación del Refractario de las paredes	Técnico Refractario
	Inspección de la Soldadura Realizada	Ingeniero Inspector
	Adecuación (Reconexión) Líneas de Suministro	Tuberos

ZONA	TAREA	PERSONAL ENCARGADO
*TAMBOR DE VAPOR	Instalación de Ciegos en las Líneas de suministro de agua al Domo	Tuberos
	Limpieza General	Ayudante Técnico de Limpieza
	Limpieza Profunda	Técnico Hidrojet
	Inspección General	Ingeniero Inspector
	Inspección De Grieta Reparada	Ingeniero Inspector
DESPOJADORAS D2 Y D3	Inspección General	Ingeniero Inspector
	Instalación de ciegos en Los suministros de Vapor y Crudo	Operarios, tubero
	Limpieza General	Ayudante Técnico de Limpieza
	Limpieza Profunda	Técnico Hidrojet
	Adecuación (Reconexión) Líneas de Suministro	Tubero
	Inspección General	Ingeniero Inspector

*Tareas Descritas en los numerales de 4.3 a 4.6

La relación de gasto de personal externo que se debe contratar en la Refinería se muestra en la siguiente tabla.

Cuadro 5. Relación de costo de personal externo a la refinería necesario para la parada de planta programada.

Personal	Cantidad de Personal	Valor día Honorario	Valor total por día
Ingeniero Inspector	5	200.000	1'000.000
Soldador	2	100.000	200.000
Técnico Refractario	6	50.000	300.000
Tubero	6	50.000	300.000
Pailero	6	50.000	300.000
Ayudante Técnico General	10	30.000	300.000
			2'400.000

Presupuesto. En la siguiente tabla se especifican las tareas requeridas con sus respectivos valores para determinar el presupuesto estimativo de puesta a punto del Horno F1.

Cuadro 6. Presupuesto de la puesta a punto del Horno F1

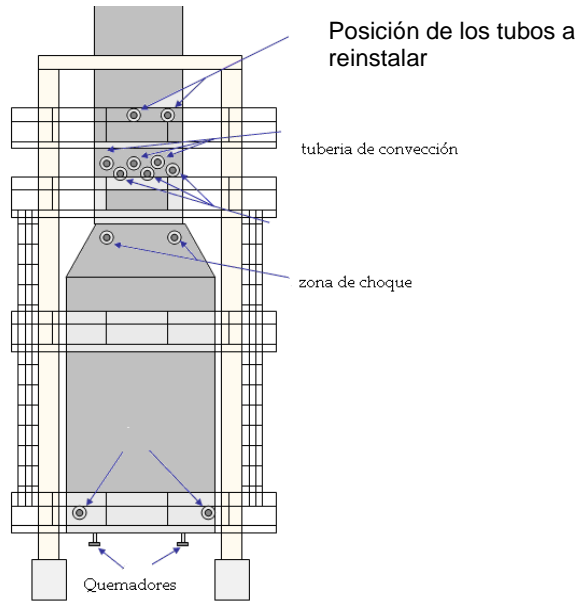
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	Tiempo en días	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	Personal Externo a la Refinería	-----	15	2'400.000	36'000.000
2	Montacarga más operario	1	1	600.000	600.000
3	Grúa con su respectivo conductor	1	1	1'200.000	1'200.000
4	Equipo de soldadura SMAW	1	3	250.000	750.000
5	Equipo de Hidrojet	1	3	100.000	300.000
6	Andamios	6	15	50.000	3'600.000
7	Insumos	-----	-----	-----	15'000.000
TOTAL					57'450.000

4.3 PLAN DE REINSTALACIÓN DE LA TUBERÍA DEL SERPENTIN DE GENERACIÓN DE VAPOR.

En la reinstalación de la tubería de la zona de generación de vapor faltante en el serpentín se hace necesario realizar las siguientes subtareas:

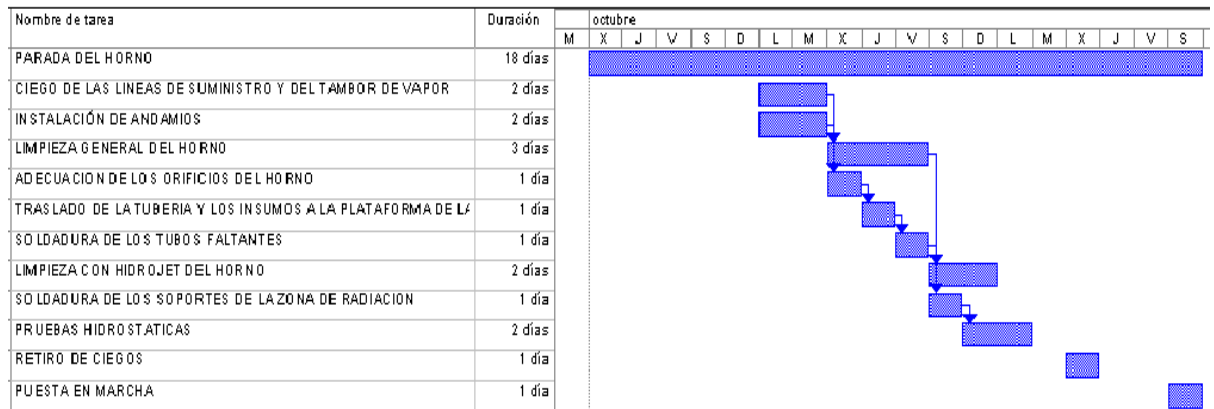
4.3.1 Adecuación de los Orificios de la Tubería Faltante. Para reinstalar la tubería faltante (cuatro tubos superiores), se debe adecuar y disponer de los orificios propios del horno en donde van los tubos; para efectos de esto, no es necesario desmantelar la chimenea del horno, se hace indispensable retirar las tapas de laterales en la zona de generación de vapor, de tal manera que quede acceso libre a los huecos donde va la tubería a reinstalar. Se debe hacer una limpieza total a dichos orificios y a la zona de convección en general.

Figura 42. Disposición de las zonas del Horno F1



Luego de la limpieza se debe trasladar los cuatro tubos desde el almacén hasta la plataforma donde serán insertados en la zona de convección del horno. Luego de ser nivelados y posicionados correctamente se procede a soldarlos con los codos respectivos.

Figura 43. Fotografía del Diagrama de Gantt, Cronograma de actividades para reinstalación del serpentín



4.4 REPARACIÓN REALIZADA EN LA GRIETA EN EL DOMO

Figura 44. Grieta encontrada entre el domo de vapor y accesorio de acumulación de lodos



La grieta que estaba presente en la unión del tambor con los internos se reparó durante la parada para inspección, removiendo el material fisurado y aplicando un nuevo cordón de soldadura, utilizando un electrodo E-6010 de bajo hidrógeno, de 1/8" de diámetro. Adicionalmente para la próxima parada se requiere relleno con soldadura en las zonas soldadas que tienen pérdida de material en forma de socavaduras, realizando un precalentamiento antes de soldar y postcalentamiento después de realizada la reparación, el cual debe ser entre 150 y 200 °C.

Figura 45. Accesorio de acumulación de lodos, soldado al domo de vapor



Después de la reparación se debe hacer limpieza mecánica con grata para eliminar los residuos de óxidos y pintura y obtener una superficie apta para aplicar el convertidor de óxidos a la mitad inferior del cilindro, dejar fraguar durante cuatro a cinco horas y aplicar posteriormente el epoxifenólico serie 45 en las proporciones recomendadas por el fabricante (SIKA).

Figura 46. Estado actual de la soldadura correctiva de la grieta reparada



4.5 REPARACIÓN DEL SISTEMA DE QUEMADORES

Se debe reparar las ollas de los quemadores, las fisuras del mortero del piso y la manta desprendida de los soportes en las paredes y puerta de entrada.

Todas las boquillas de los quemadores se deben estandarizar con la característica de poseer seis orificios de diámetro de 1/16", esto para efecto de homogenizar la presión de entrada de combustible al horno y la combustión del mismo. Verificar que los quemadores queden bien centrados con respecto a las hoyas y a la altura recomendada por el fabricante de los quemadores (John Zinc).

4.6 REPARACIONES EN LA ZONA DE RADIACIÓN

Como primera medida los espesores de la tubería de la zona de choque son superiores a 5.0 mm. (0.197 pulg.), no hay evidencias de formación de capas gruesas de óxidos por sobrecalentamiento, ni pandeo que indique que la tubería en algún momento haya sido sometido a temperaturas de piel superiores a la temperatura máxima de diseño, 1200 °F. Por lo tanto se considera que la vida útil de estos tubos es superior a cuatro años de operación continua bajo las mismas condiciones operacionales actuales del horno.

El defecto presente en el tubo 28 (pared sur) corresponde a una entalla de fabricación o inducida durante la instalación, el cual no compromete la integridad estructural del tubo, por lo tanto no es prioritario el cambio de esta tubería durante la próxima parada.

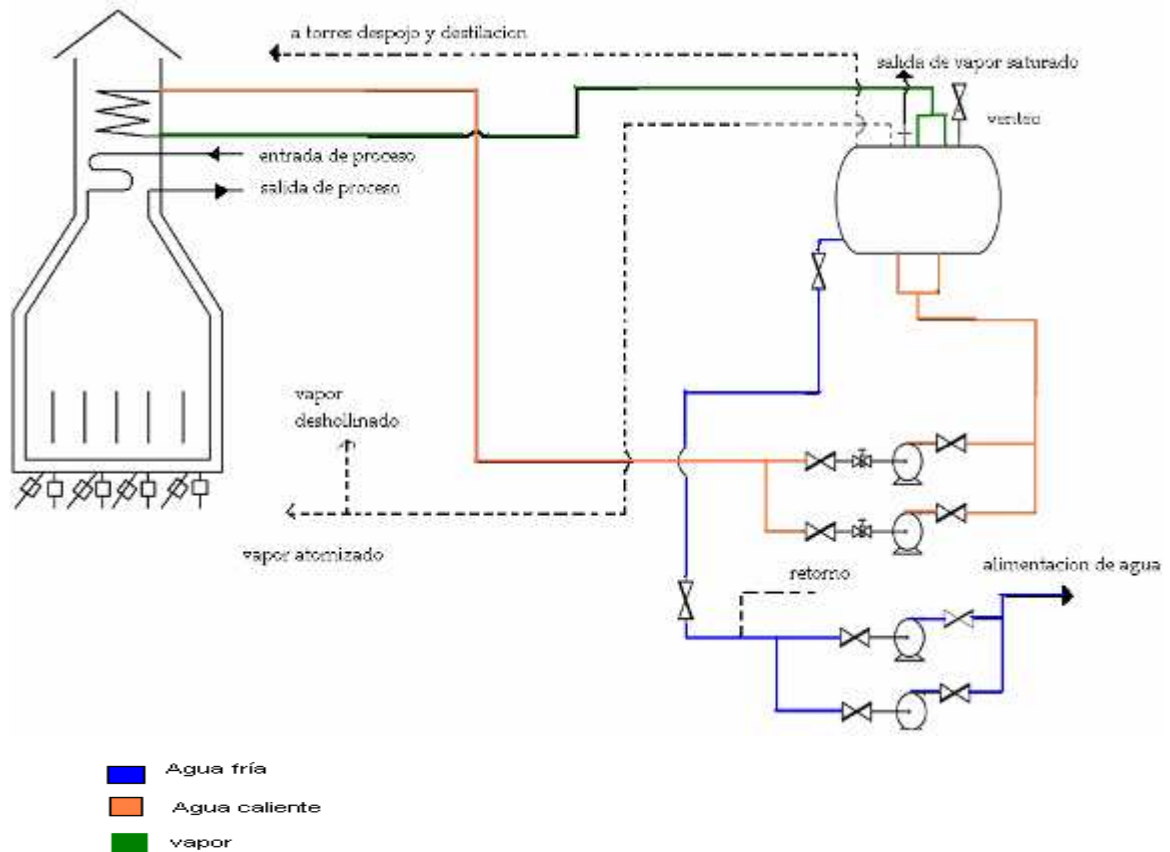
Se debe solicitar la fabricación de 30 cuñas de los soportes de la tubería de la zona de radiación en material HK 40 o en su defecto acero inoxidable austenítico AISI 310. Para realizar el cambio de estos elementos en la próxima parada, seleccionando las cuñas mas afectadas por sulfidación.

4.7 REACONDICIONAMIENTO DEL SUMINISTRO DE AGUA PARA LA GENERACIÓN DE VAPOR

El agua para generación de vapor es precalentada a una temperatura de 300°F proveniente del intercambiador de calor, esta es recirculada con un par de bombas a través de la tubería de superficie extendida que se encuentra en la zona de convección del horno, el vapor generado llega al tambor de vapor el cual tiene un dispositivo para eliminar la humedad y es distribuido

para la atomización de los quemadores, inyección en la torre de destilación, despojadores y tea.

Figura 47. Líneas de Suministro de proceso y para generación de vapor



El Horno F1 cuenta con dos bombas para alimentación de agua, cuyas especificaciones se muestran a continuación:

- Capacidad de cada una: 3454 [lb/h]
- Presión de descarga: 185 [psig]
- Temperatura del agua: 90 [°F] max

Las bombas de alimentación de agua son accionadas por un motor eléctrico de 5 HP, 1800 rpm, 460 V, 60 hz. Motores a prueba de explosión. También

cuenta con arrancadores para arranque directo arranque remoto desde el puesto de control.

Para la circulación de agua caliente al sistema de generación de vapor, el sistema Horno cuenta con dos bombas, con las siguientes especificaciones;

- Capacidad de cada una: 13000 [lb/h]
- Presión de descarga: 160 [psig]
- Presión en la succión: 130 [psig]
- Temperatura del agua: 350 [°F]

Accionadas por motor eléctrico de 3 HP, 1800 rpm, 460 V, 60 hz. Motores a prueba de explosión. También cuenta con arrancadores para arranque directo arranque remoto desde el puesto de control.

Las bombas especificadas anteriormente se encuentran en muy buen estado, ya que se ha hecho constate mantenimiento, de igual manera obedecen a las indicaciones establecidas por el fabricante del Horno F1.

Es por esto que en el reacondicionamiento del suministro de agua, se recomienda hacer una prueba hidrostática a las bombas antes de poner en marcha el sistema de generación de vapor.

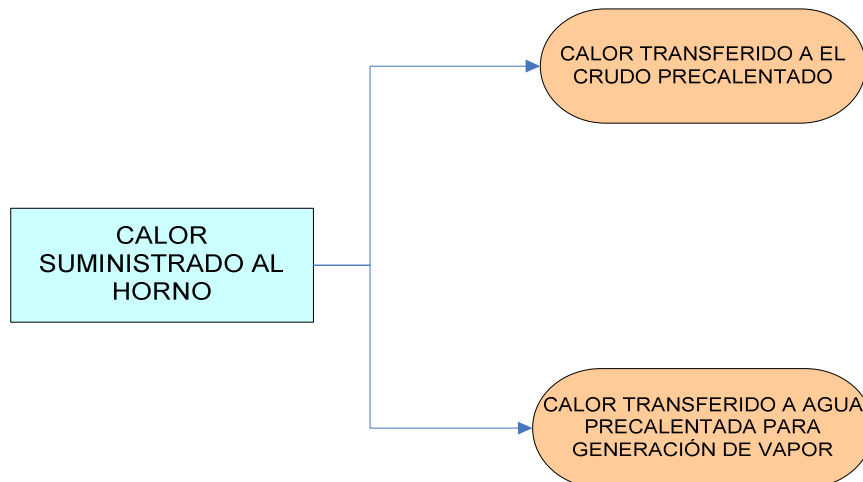
5. CÁLCULO DE LA EFICIENCIA DEL HORNO

Este capítulo trata de los cálculos necesarios para determinar la eficiencia del horno en condiciones de operación actuales (sin producción de vapor) y la eficiencia esperada luego de recuperar el sistema de generación de vapor.

Teniendo en cuenta que la eficiencia esta definida como la relación entre el calor transferido a un producto, para nuestro caso un Horno dual tipo cabina transfiere calor a dos productos.

- a. Transferencia de calor a Petróleo Crudo que entra al horno en la zona de radiación en el proceso de precalentamiento de crudo
- b. Transferencia de calor a Agua precalentada que entra al horno en la zona de convección para el proceso de generación de vapor.

Figura 48. Diagrama de calor transferido en el horno, condiciones actuales



En nuestro caso, se puede definir claramente la eficiencia del horno como la relación del calor transferido al crudo precalentado más el calor transferido al agua, sobre el calor suministrado al horno.

En el caso real, no es tan fácil medir estos calores suministrados, es por esto que para medir la eficiencia hay que utilizar un método estimativo, para efecto de esto existen dos metodologías⁷:

- **Método Directo.** En el método directo, la eficiencia comprende la medición de la energía de entrada (calor suministrado por el combustible) y la energía de salida (calor absorbido por el crudo pesado y el vapor generado)
- **Método Indirecto.** En este método es necesario la determinación de cada una de las pérdidas que intervienen en el balance térmico y evaluarlas para tomar correctivos.

Para el desarrollo de este proyecto el método utilizado para el cálculo de la eficiencia del horno es el **método directo**, por la facilidad de la adquisición de los datos necesarios para realizar los cálculos.

Se debe tener en cuenta que para hallar la eficiencia en condiciones actuales de operación, el Horno no cuenta con el servicio de generación de vapor, lo que la eficiencia se calculará de la siguiente manera basados en el método anteriormente mencionado.

5.1 EFICIENCIA EN CONDICIONES DE OPERACIÓN ACTUAL

La condición actual de operación del horno es: cuatro quemadores que trabajan a combustóleo atomizado con vapor que proviene de un par de

⁷ Métodos establecidos por la ASME Test Code PTC 4.1

calderas piro-tubulares, en la zona de radiación se precalienta crudo de 400 °F a 703 °F, y no se produce vapor en la zona de convección.

En la zona de radiación se encuentra cuatro quemadores de combustóleo ubicados en el piso del horno, por esta zona circulan 60 tubos de acero ASTM A335 P5 (5Cr1/2Mo) Sch 40 de 3.5" de diámetro, por donde circulan 38000 lb/h de crudo a precalentar.

En la zona de radiación (nombre que se le designa a esta zona) el proceso de transferencia de calor no solo se da por radiación, también ocurre un proceso de convección, para efecto de esto se lleva a cabo el siguiente procedimiento:

Matemáticamente la eficiencia se calcula de la siguiente manera:

$$\eta = \frac{Q_f}{M_f * H_f}$$

Donde:

$$Q_f = 1.73 * F \left[\left(\frac{T_g}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_o}{100} \right)^4 \right] * \alpha * A_{cp} + hc * A (t_g - t_o)^8$$

Ya que en el proceso actual solo contamos con precalentamiento de crudo Q_f es el calor absorbido por el crudo precalentado que es igual a la suma del calor de radiación de los gases más el calor por convección en la zona de radiación.

Cálculo de Q_f . El cálculo de Q_f se hace a partir de la ecuación dos donde las variables son:

⁸ Ecuación tomada del libro: Applied Heat Transfer, primera edición

F: es el coeficiente global de transferencia

Mf: es la masa de combustible

Hf: es el poder calorífico del combustible

Tg: temperatura de los gases, [°R]

tg: temperatura de los gases, [°F]

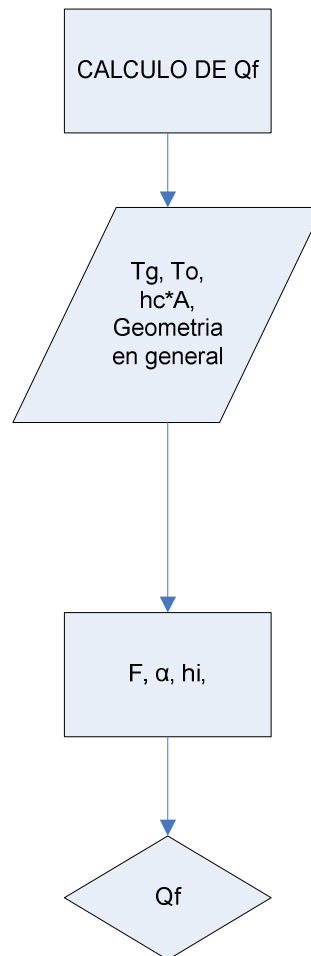
To: temperatura media de los tubos, [°R]

to: temperatura media de los tubos. [°F]

Acp: área del plano frío [ft²]

α : Factor de Visión de la zona de radiación

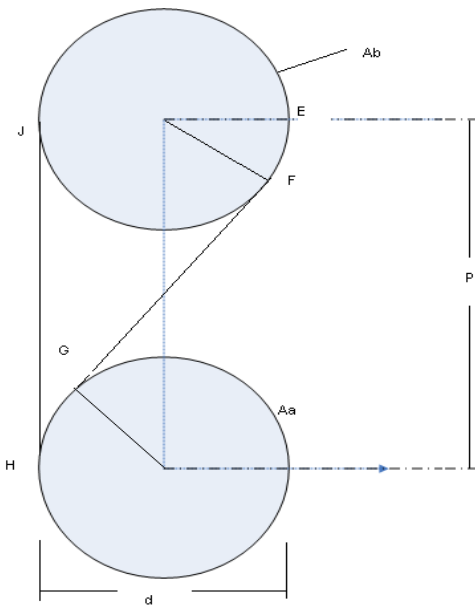
Figura 49. Diagrama de flujo Cálculo de Qf



De esta forma se procede a calcular el calor Qf absorbido en la zona de radiación del Horno F1.

- **Cálculo del Factor de Visión en la zona de Radiación (α)**

Figura 50. Geometría del arreglo de los tubos en zona de radiación



$$\overline{ab} = \left[\text{sen}^{-1} \left(\frac{d}{p} \right) + \left[\left(\frac{p}{d} \right)^2 - 1 \right]^{0.5} - \frac{p}{d} \right]$$

Donde:

d es el diámetro nominal de los tubos d=3.5"

p es el paso de los tubos p= 6"

$$\overline{ab} = \left[\text{sen}^{-1} \left(\frac{3.5}{6} \right) + \left[\left(\frac{6}{3.5} \right)^2 - 1 \right]^{0.5} - \frac{6}{3.5} \right] = 0.3$$

Ahora encontraremos la eficiencia alrededor de los tubos; cada tubo ve a dos tubos vecinos y al espacio externo del plano tangente al tubo. La sumatoria de estas da como resultado,

$$2(\overline{ab}) + 2(\overline{ap}) = Aa$$

Si Aa es el área externa del tubo circular, tenemos:

$$\overline{ap} = \overline{pa} = \frac{Aa}{2} - \overline{ab}$$

Del flujo de radiación en todas las direcciones, la fracción dirigida al plano P es \overline{ap} / Aa multiplicando esta por toda el área de los tubos, Ap , da el plano de la hilera de los tubos externos al área $ApFp1$

$$Ap * Fp1 = Aa \left(\frac{1}{2} - \frac{\overline{ab}}{Aa} \right)$$

$$\alpha = Fp1 = \frac{Aa}{Ap} \left(\frac{1}{2} - \frac{\overline{ab}}{Aa} \right)$$

$$\alpha = \frac{\pi * d}{2p} - \frac{\overline{ab}}{p}$$

$$\alpha = \frac{\pi * 3.5}{2 * 6} - \frac{0.3}{6} = 0.86$$

Factor de visión
zona de
Radiación

Tenemos que el factor de visión para la zona de radiación en el horno es $\alpha=0.86$

• **Cálculo del Coeficiente Global de transferencia (F), zona de radiación.**

$$F = \frac{1}{\left(\frac{1}{E_f} + \frac{1}{E_{w'}} - 1 \right)}$$

Donde:

E_w' : emisividad de la pared, esta puede variar entre 0.6 y 0.9 dependiendo del grado de oxidación de la superficie de la pared, para nuestro caso tomamos $E_w'=0.9$

E_f : Eficiencia de la emisividad de los gases, dada por:

$$E_f = E_g \left[1 + \frac{A_R}{\alpha * A_{cp} \left[1 + \left(\frac{E_g}{1 - E_g} \right) * \frac{1}{F_{RC}} \right]} \right]$$

Con:

A_R : Área del refractario; $A_R = A_T - \alpha * A_{cp}$

A_T : Área total de la zona de radiación: $A_T=553.2 \text{ [Ft}^2\text{]}$

A_{cp} : Área del plano frío: $A_{cp}= 450 \text{ [Ft}^2\text{]}$

F_{RC} : eficiencia de reradiación; $F_{RC} = \frac{\alpha * A_{cp}}{A_R + \alpha * A_{cp}}$

E_g : emisividad de los gases, dada por: $E_g = E_c + \eta E_w - \Delta E$

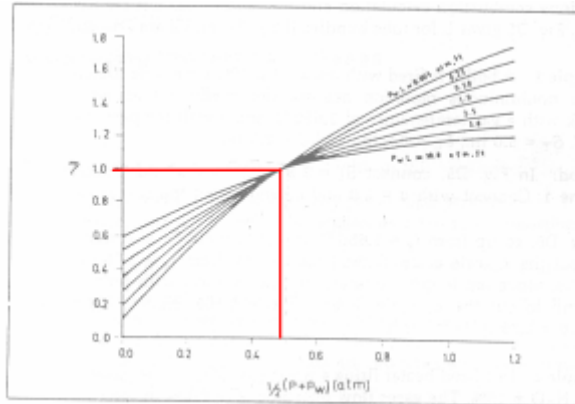
Calculando:

$$A_R = 553.32 - 0.86 * 450 = 146.32 \text{ ft}^2$$

$$F_{RC} = \frac{0.86 * 450}{146.32 + 0.86 * 450} = 0.7256$$

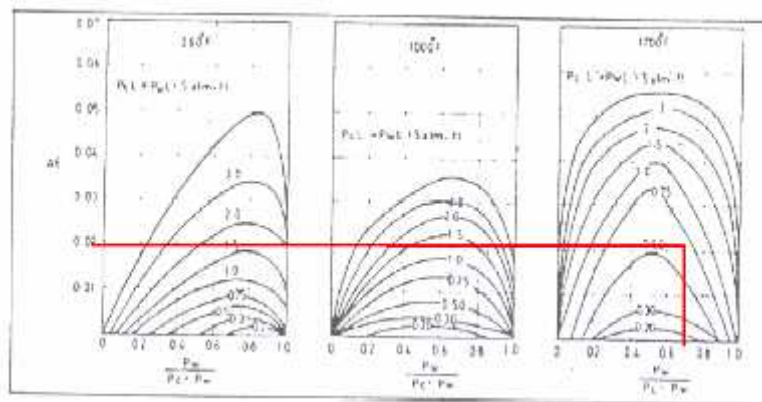
- Cálculo de la Emisividad de los Gases:

Figura 51. Factor de corrección para emisividad de vapor de agua⁹



A la grafica se entra con $\frac{1}{2}(P + P_{H_2O}) = \frac{1}{2}(0.9377 + 0.1327) = 0.5$, como podemos ver en la figura, se obtiene un $\eta = 1$.

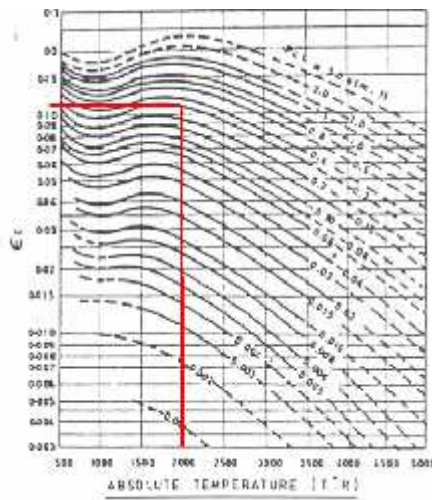
Figura 52. Factor de corrección térmica por presencia dual de vapor de agua y dióxido de carbono⁹



A la gráfica de corrección térmica se entra con $\frac{P_{H_2O}}{(P_{H_2O} + P_{CO_2})} = 0.1327 / (0.1327 + 0.051) = 0.722$, y cortando con $P_{H_2O} L * P_{CO_2} * L = 1.256 * 0.49 = 0.61$, nos da como resultado que $\Delta E = 0.02$

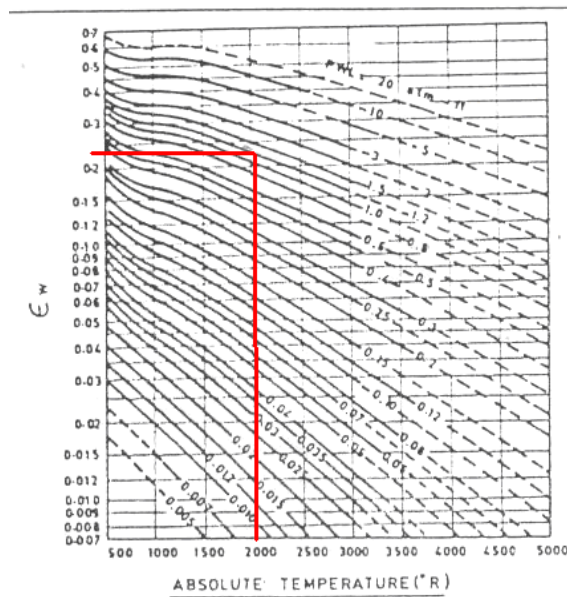
⁹ Tomado del libro Applied Heat Transfer, primera edición

Figura 53. Emisividad del dióxido de carbono en la zona de radiación⁹



Se obtiene que la emisividad del CO_2 es, $E_c = 0.12$

Figura 54. Emisividad del H_2O ⁹



Se obtiene que la emisividad del H_2O es 0.23.

Entonces la emisividad de los gases se da por la ecuación,

$$E_g = E_c + \eta E_w - \Delta E$$

$$E_g = 0.12 + 1 * 0.23 - 0.02 = 0.33$$

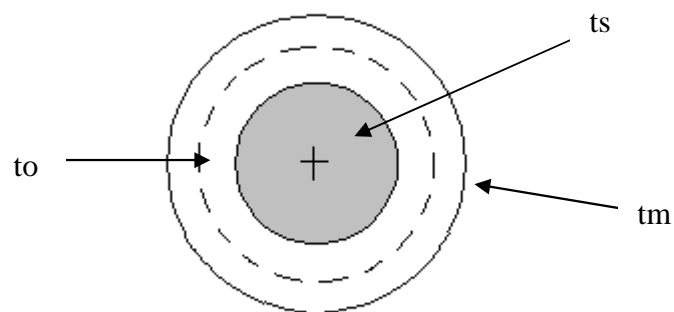
$$E_f = 0.33 \left[1 + \frac{146.32}{0.86 * 450 \left[1 + \left(\frac{0.33}{1 - 0.33} \right) * \frac{1}{0.7256} \right]} \right] = 0.3752$$

$$F = \frac{1}{\left(\frac{1}{0.3752} + \frac{1}{0.6} - 1 \right)} = 0.3$$

Coeficiente global de Transferencia

- **Cálculo de la Temperatura de superficie de los tubos (zona de radiación)**

Figura 55. Temperaturas en un tubo de la zona de radiación



Para hallar la temperatura media de la tubería en la zona de radiación recurrimos a la siguiente ecuación:

$$(tm - ts) = \frac{q_{max} * d}{12 * km} \left[\frac{12 * km}{hi * di} + \frac{\ln\left(\frac{d + di}{2 * di}\right)}{2} \right]$$

Donde:

tm: Temperatura media de los tubos

t_o: Temperatura de superficie de los tubos de la zona de radiación

ts: Temperatura media del fluido de proceso

q: flujo de transferencia de calor en la tubería de la zona de radiación = 18000[Btu/h]

q_{max}: flujo máximo de transferencia de calor en la tubería de la zona de radiación

q_{max}= 2*18000*1.2 = 43200 [Btu/h]

d: diámetro extremo de la tubería, d= 4"

di: diámetro interno de la tubería. di= 3.5512"

km: constante térmica del material A335 P5, km=21 [Btu/(h*ft*F)]

El coeficiente de convección dentro de la tubería se halla de la siguiente manera:

$$hi = \frac{jh * Cpi * Gi}{Pr i^{2/3} (\mu_w / \mu)^{0.14}}$$

Donde:

Gi: velocidad de la masa de crudo dentro de la tubería de la zona de radiación, Gi=740160 [lb/(ft²h)]

μ: viscosidad del crudo a la temperatura media μ =15[lb/(ft*h)]

μ_w: viscosidad del crudo a la temperatura media de los tubos μ_w=1

$$Re_i = \frac{d * Gi}{12 * \mu} = \frac{4 * 740160}{12 * 15} = 1.97 * 10^6$$

jh: factor Seider-Tate, jh=0.027/Re_i^{0.2} = 0.027/(1.97*10⁶)^{0.2} = 0.0039[lb/(ft*h)]

C_{pi}: calor específico instantáneo del gas, para gases de combustóleo,
C_{pi}=0.6[Btu/lb°F]

$(\mu_w / \mu)^{0.14} = 0.68$, ya que el fluido es muy poco viscoso a la temperatura de trabajo.

$$Pr_i = \frac{\mu * c_p}{k_f} = \frac{15 * 0.6}{0.07} = 128.57. \quad K_f = \text{conductividad térmica del crudo.}$$

Entonces:

$$h_i = \frac{0.0039 * 0.6 * 740160}{128.57^{2/3} * 0.68} = 98.66 [Btu / ft^2 * h^\circ F]$$

Ahora podemos hallar:

$$(t_m - t_s) = \frac{43200 * 4}{12 * 21} \left[\frac{12 * 21}{98.66 * 3.5512} + \frac{\ln\left(\frac{4 + 3.5512}{2 * 3.5512}\right)}{2} \right] = 514.17 F$$

De la siguiente ecuación podemos hallar t_o, así:

$$(t_o - t_m) = \frac{q_{max} * d}{24 * k_m} \ln\left(\frac{2 * d}{d + d_i}\right) = \frac{43200 * 4}{24 * 21} \ln\left(\frac{2 * 4}{4 + 3.5512}\right) = 19.79^\circ F$$

Es conocida la temperatura media del crudo dentro de los tubos:

$$t_s = \frac{400 + 700}{2} = 550^\circ F; \Rightarrow t_m = 550 + 514.17 = 1064.2^\circ F$$

Y t_o será:

$$t_o = 1064.2 + 19.79 = 1084^\circ F$$

Temperatura de superficie de los tubos

La temperatura con que salen los gases de la zona de radiación a la zona de convección es de 1325 °F, Dato suministrado por registros de operación, Refinería Orito.

$$Q_f = 1.73 * 0.3 \left[\left(\frac{1325 + 400}{100} \right)^4 - \left(\frac{1084 + 400}{100} \right)^4 \right] * 0.86 * 450 + 7(1084 - 769.35)$$

Despejando q_f de la ecuación, encontramos:

$$Q_f = 8.04 \cdot 10^6 \text{ [Btu/h]} \rightarrow \text{Calor absorbido en la zona de radiación}$$

$$\eta = \frac{Q_f}{M_f \cdot H_f} = \frac{Q_f}{Q_t}$$

El calor total suministrado al horno esta dado por:

$$Q_t = 4 \cdot LHV \cdot M_{\text{comb}} \cdot F_c$$

H_f : Poder calorífico inferior del combustóleo; $H_f = 43635.8 \text{ [KJ/Kg]}$

F_c : factor para obtener el calor en unidades de Btu/h $F_c = 0.947817$

M_f : masa del combustible, $M_{\text{comb}} = 117.94 \text{ kg/h}$

$$Q_t = 4 \cdot 43635.8 \cdot 117.94 \cdot 0.947817 = 19.51 \cdot 10^6 \text{ [Btu/h]}$$

$$\eta = \frac{8.04 \cdot 10^6}{19.51 \cdot 10^6} \cdot 100 = 41.2\% \rightarrow \text{Eficiencia en condiciones de operación actuales}$$

La eficiencia del horno en condiciones de operación actuales será igual a 41.2%.

5.2 EFICIENCIA ESPERADA DESPUES DE REPARACIÓN

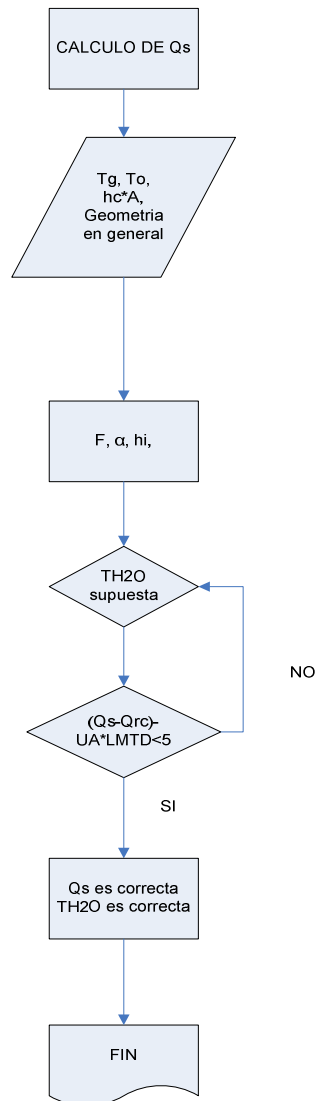
La eficiencia esperada después de la reparación general del horno esta directamente asociada a la recuperación de la zona de generación de vapor que es la segunda tarea para la cual fue diseñado el horno F1.

Para el cálculo de esta eficiencia esperada, también se utilizará el MÉTODO DIRECTO que se utilizo en el numeral anterior, pero con la variante que el

calor absorbido será la suma del calor absorbido en la zona de radiación más el calor absorbido en la generación de vapor.

Para efectos de la generación de vapor el horno cuenta con 24 tubos aleteados (con studs) de 4" de diámetro nominal en material A 106 Gr B, de longitud 15 ft. A esta zona entra agua precalentada que viene del domo de vapor D6, a una temperatura de 350 °F y 120 psig de presión.

Figura 56. Diagrama para hallar Q_s



Para hallar la eficiencia esperada después de reparación, se tiene la condición de que además de utilizar el calor para calentar el crudo (Q_f), que se halla en las condiciones de operación actuales, también se tiene el calor absorbido en la generación de vapor (Q_s), entonces el calor útil en el horno será la suma de los dos calores así.

$$\eta = \frac{Q_u}{M_f * H_f}$$

Con: $Q_u = Q_f + Q_s$

$$Y \quad Q_s = m_{H_2O}(hs_2 - hs_1)$$

La transferencia de calor en esta zona esta dada por el calor que absorbe el agua para ser evaporada (Q_s), el calor de radiación que emiten los gases calientes (Q_{rc}) y el calor de convección en esta zona (Q_c).

La ecuación que rige esta relación se muestra a continuación:

$$Q_s - Q_{rc} = Q_c$$

$$Q_c = UA * LMTD$$

Donde:

$$Q_s = m_{H_2O}(hs_2 - hs_1)$$

Para esta ecuación:

m_{H_2O} : Es el flujo másico de agua que se va a evaporar en la zona de convección $m_{H_2O} = 2500 \text{ lb/h}$

hs_1 : Es la entalpía a la temperatura de entrada del agua. $hs_1 = 271.7 \text{ Btu/lb}$

hs_2 : Es la entalpía a la que sale el vapor a la temperatura de salida del vapor.

$$Q_{rc} = E_{wc}' * E_{gc} * \sigma * A_{rc} * \alpha_c * (T_g^4 - T_o^4)$$

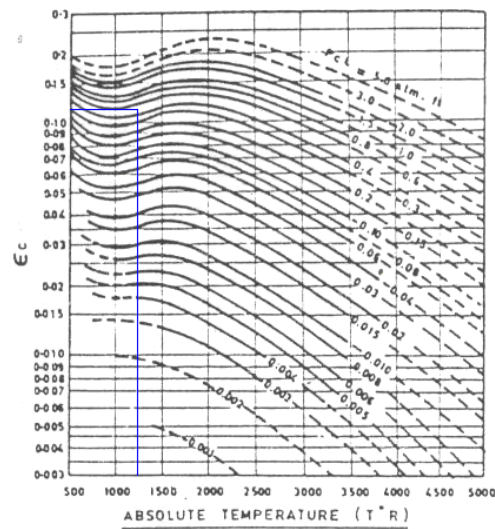
Para esta ecuación:

E_{wc}' : El factor de radiación de las paredes de la zona de convección para nuestro caso $E_{wc}' = 0.6$

E_{gc} : Es la emisividad de los gases a la temperatura de la zona de radiación.

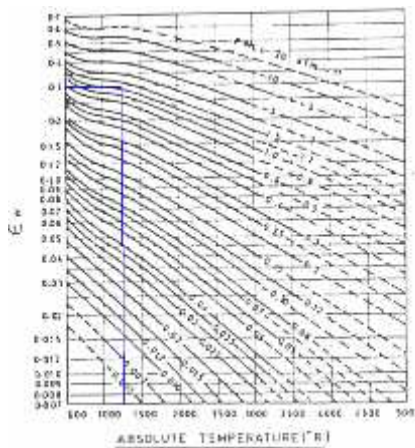
- Calculo de la emisividad de los gases en la zona de convección

Figura 57. Emisividad del dióxido de carbono en la zona de convección⁹



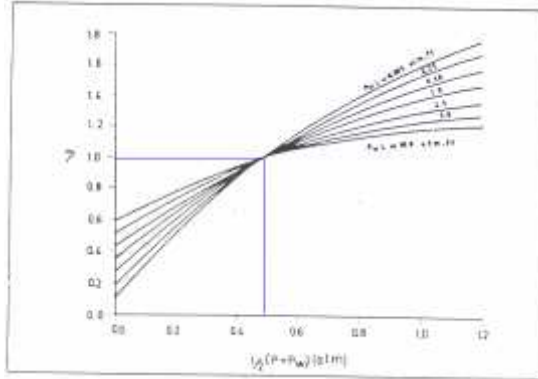
Obtenemos que $E_c = 0.12$

Figura 58. Emisividad del vapor de agua en la zona de convección⁹



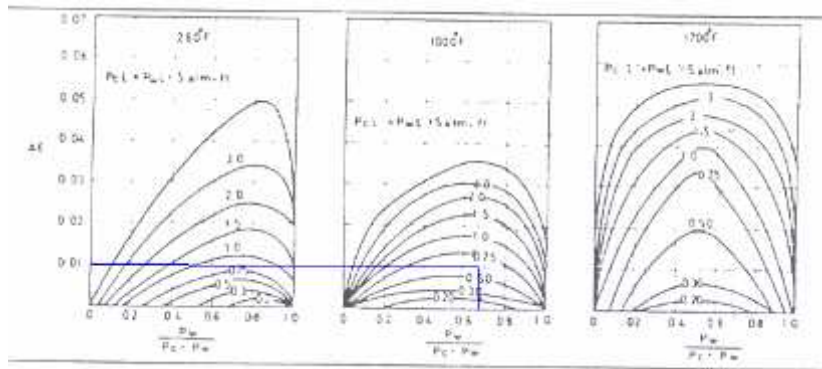
Se obtiene que $E_w = 0.3$

Figura 59. Factor de corrección para la emisividad del agua⁹



De esta grafica tenemos que $\eta=1$

Figura 60. Corrección térmica debido a la presencia de agua y dióxido de carbono⁹



De la gráfica se encuentra que $\Delta E = 0.01$, entonces hallamos E_{gc}

$$E_{gc} = E_c + E_w * \eta - \Delta E = 0.12 + 0.3 * 1 - 0.01 = 0.41$$

σ : es la constante de Steffan Boetzmann, $\sigma = 17.8 * 10^{-8} [\text{Btu}/(\text{ft}^2 * \text{h} * \text{R}^4)]$

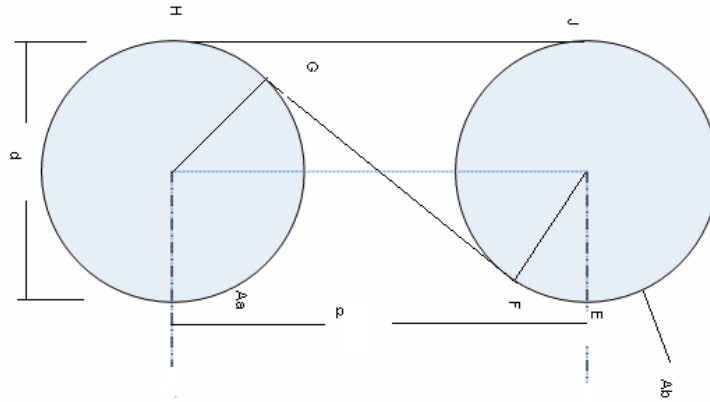
Atc: área total de la zona de convección, $Atc = 294 \text{ ft}^2$

Acp: 240 ft^2

Arc: Área del refractario, $Arc = Atc - \alpha Acp$, $Arc = 294 - 0.84 * 240 = 90.62 \text{ ft}^2$

- **Calculo del Factor de Visión Zona de Convección (α)**

Figura 61. Geometría del arreglo de los tubos en la zona de Convección



$$\overline{ab} = \left[\text{sen}^{-1}\left(\frac{d}{p}\right) + \left[\left(\frac{p}{d}\right)^2 - 1 \right]^{0.5} - \frac{p}{d} \right]$$

Donde:

d es el diámetro nominal de los tubos d=4"

p es el paso de los tubos p= 8"

$$\overline{ab} = \left[\text{sen}^{-1}\left(\frac{4}{8}\right) + \left[\left(\frac{8}{4}\right)^2 - 1 \right]^{0.5} - \frac{8}{4} \right] = 0.2895$$

De igual manera que en la zona de radiación, en esta zona cada tubo ve a dos tubos vecinos y al espacio externo del plano tangente al tubo. La sumatoria de estas da como resultado,

$$2(\overline{ab}) + 2(\overline{ap}) = Aa$$

Si Aa es el área externa del tubo circular, tenemos:

$$\overline{ap} = \overline{pa} = \frac{Aa}{2} - \overline{ab}$$

Con un flujo de radiación en todas las direcciones debido a la alta temperatura con la que llegan los gases a esta zona, la fracción dirigida al plano P es \overline{ap} / Aa multiplicando esta por toda el área de los tubos, Ap , da el plano de la hilera de los tubos externos al área $ApFp1$

$$Ap * Fp1 = Aa \left(\frac{1}{2} - \frac{\overline{ab}}{Aa} \right)$$

$$\alpha = Fp1 = \frac{Aa}{Ap} \left(\frac{1}{2} - \frac{\overline{ab}}{Aa} \right)$$

$$\alpha = \frac{\pi * d}{2p} - \frac{\overline{ab}}{p}$$

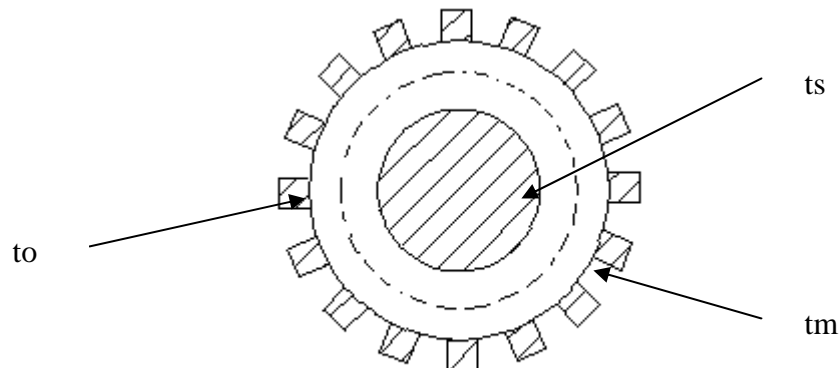
$$\alpha = \frac{\pi * 4}{2 * 8} - \frac{0.2895}{8} = 0.8474$$

Factor de visión,
zona de
convección

• **Cálculo de la temperatura de Superficie de la tubería de la zona de Convección**

•

Figura 62. Temperaturas en la tubería de convección



Para hallar la temperatura media de la tubería en la zona de convección recurrimos a la siguiente ecuación:

$$(tm - ts) = \frac{q_{max} * d}{12 * km} \left[\frac{12 * km}{hi * di} + \frac{\ln\left(\frac{d + di}{2 * di}\right)}{2} \right]$$

Donde:

q: flujo de transferencia de calor en la tubería de la zona de radiación = 10000[Btu/h]

qmax: flujo máximo de transferencia de calor en la tubería de la zona de radiación

qmax= 2*10000*1.2 = 24000 [Btu/h]

d: diámetro extremo de la tubería, d= 4.75"

di: diámetro interno de la tubería. di= 4.25 "

km: constante térmica del material A106 GrB, km=21.37 [Btu/(h*ft°F)]

El coeficiente de convección dentro de la tubería se halla de la siguiente manera:

$$hi = \frac{jh * Cpi * Gic}{Pr i^{2/3} (\mu_w / \mu)^{0.14}}$$

Donde:

Gic: velocidad de la masa de agua dentro de la tubería de la zona de convección, Gi= 141480 [lb/(ft²h)]

μc: viscosidad del agua a temperatura media μc =0.03[lb/(ft*h)]

$$Re_i = \frac{d * Gi}{12 * \mu} = \frac{4.5 * 141480}{12 * 0.03} = 16448$$

jh: factor Seider-Tate, jh=0.027/Re_i^{0.2} = 0.027/(16448)^{0.2} = 0.0015[lb/(ft*h)]

Cpi: calor específico instantáneo del agua, Cpi=0.48[Btu/lb°F]

$$Pr i = \frac{\mu * cp}{kf} = \frac{0.03 * 0.48}{0.014} = 1.02$$

Kf= conductividad térmica del agua.

Entonces:

$$hi = \frac{0.0015 * 0.48 * 141480}{1.02^{2/3}} = 100.18 [Btu / ft^2 * h^{\circ} F]$$

Ahora podemos hallar:

Ahora podemos hallar:

$$(tm - ts) = \frac{24000 * 4.75}{12 * 21.37} \left[\frac{12 * 21.37}{100.18 * 4.25} + \frac{\ln\left(\frac{4.75 + 4.25}{2 * 4.25}\right)}{2} \right] = 280.03^{\circ} F$$

De la siguiente ecuación podemos hallar to, así:

$$(to - tm) = \frac{q \max * d}{24 * km} \ln\left(\frac{2 * d}{d + di}\right) = \frac{24000 * 4.75}{24 * 21.37} \ln\left(\frac{2 * 4.75}{4.75 + 4.75}\right) = 11.92^{\circ} F$$

Es conocida la temperatura media del vapor dentro de los tubos estará aproximadamente con un promedio cercano a la temperatura de saturación de 341, y aproximamos a 350 °F:

$$ts = \frac{300 + 350}{2} = 325^{\circ} F; \Rightarrow tm = 325 + 280.03 = 605.03^{\circ} F$$

Y la temperatura media de los tubos to será:

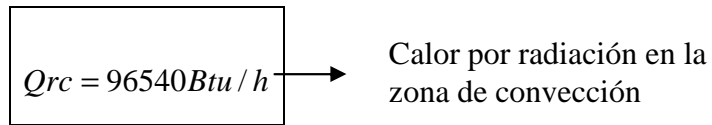
$$to = 605.3 + 11.92 = 617.22^{\circ} F = 617.22 + 460 = 1077^{\circ} R$$

Tgc: temperatura media de los gases en la zona de convección, se conoce que la temperatura con que salen los gases por la chimenea es de 450°F

$$tg = \frac{1318 + 450}{2} = 884^{\circ} F = 884 + 460 = 1344^{\circ} R$$

De esta manera podemos hallar el calor de radiación en la zona de convección:

$$Qrc = 0.6 * 0.41 * 17.8 * 10^{-8} * 90.62 * 0.84 * (1344^4 - 1077^4) = 96540 Btu / h$$



- **Calculo del calor por convección en la zona de convección**

$$Q_c = UA * LMTD$$

Donde:

$$UA = \frac{1}{\frac{1}{he(AI + \eta Af)} + \frac{Ln(d/di)}{2 * \pi * k * Lt * Nw} + \frac{1}{hiAi} + Re f}$$

Con:

he: coeficiente de transferencia de calor por convección externo en la zona de generación de vapor, $he = 16[\text{Btu}/(\text{ft}^2 \text{h}^\circ\text{F})]$.¹⁰

AI: Área de las aletas,

$$AI = (\pi * d / 12 * Lt - \pi(d / 12)^2_{aleta} * \# studs) * Nw$$

$$= (\pi * 4.75 / 12 * 12 - \pi * (0.5 / 12)^2 * 1008) Nw = 226.63 \text{ ft}^2$$

$$m = \left(\frac{he}{k * d / 48} \right) = \left(\frac{16}{21.37 * 4.75 / 48} \right) = 2.74$$

$$Lc = (L_{stud} + d_{stud} / 4) / 12 = (1 + 0.5 / 4) / 12 = 0.09 \text{ ft}$$

$$\eta: \text{eficiencia de stud, } \eta = \frac{\tanh(m * lc)}{mlc} = \frac{\tanh(2.74 * 0.09)}{2.74 * 0.09} = 0.9784$$

$$Af = \pi * d_{stud} / 12 * (Lc + d_{stud} / 4) * \# studs = \pi * 0.5 / 12 * (0.09 / 0.5 / 4) * 1008 = 610.64 \text{ ft}^2$$

Ai: Área interna de los tubos,

$$Ai = \pi * di / 12 * Lt * Nw = \pi * 4.25 / 12 * 12 * 24 = 321.18 \text{ ft}^2$$

¹⁰ Tomado de la recomendación para hornos duales según catálogo del fabricante.

Ref= factor de ensuciamiento debido a aceites combustibles, Ref=6.11*10⁻⁵

$$UA = \frac{1}{\frac{1}{16(266.66 + 0.9784 * 610.64)} + \frac{Ln\left(\frac{4.75}{4.25}\right)}{2 * \pi * 21.37 * 12 * 24} + \frac{1}{100.18 * 321.18} + 6.11 * 10^{-5}}$$

$$UA = 4230 \left[\frac{Btu}{h^{\circ} F} \right]$$

Ahora hallamos la LMTD

$$LMTD = \frac{(T_{gs} - T_{H_2O_{entrada}}) - (T_{ge} - T_{H_2O_{salida}})}{Ln((T_{gs} - T_{H_2O_{entrada}}) - (T_{ge} - T_{H_2O_{salida}}))}$$

Si sabemos que:

T_{gs}: Temperatura de los gases a la salida, T_{gs}=450 °F

T_{H₂O_{entrada}}: Temperatura del agua a la entrada, T_{H₂O_{entrada}}=300°F

T_{ge}: Temperatura de los gases a la entrada, T_{ge}=1318°F, cae de 1350 por pérdidas en las paredes. Valor de termocupla.

T_{H₂O_{salida}}: Temperatura del vapor a la salida, no es conocida, se tiene que hallar

$$LMTD = \frac{(450 - 300) - (1318 - T_{H_2O_{salida}})}{Ln((450 - 300) - (1318 - T_{H_2O_{salida}}))}$$

Es aca en donde tenemos:

$$Q_c = 4230 * LMTD \quad (1)$$

$$Q_{rc} = 96540$$

Si tenemos que:

m_{H₂O}= flujo másico del agua-vapor

hs1=entalpía a la temperatura de entrada del agua, hs1=271.7

hs2: entalpía a la temperatura de salida del vapor, es desconocida hasta el momento

$$Q_s = m_{H_2O}(hs2 - hs1) = 2500 * (hs2_{\alpha TH_2O SALIDA} - 271.7) \quad (2)$$

$$Q_s - Q_{rc} = Q_c$$

$$2500 * (hs2_{\alpha temperatura salida} - 271.7) - 96540 = 4230 * LMTD \quad (3)$$

Entonces mediante un proceso iterativo donde se itera empezando con una temperatura de salida del vapor supuesta, hasta cuando el término de la izquierda de la ecuación tres es igual a el término de la derecha en la misma ecuación; este proceso iterativo se realizó en matlab, dando los siguientes resultados:

$$LMTD = 437.62$$

$$Q_s = 2.13 * 10^6 \text{ [Btu/h]}$$

Y la temperatura de salida del vapor es igual a $T_{H_2O salida} = 352^\circ F$

Cálculo de La eficiencia Esperada Después de Reparación

$$Q_u = 8.045 * 10^6 + 2.13 * 10^6 = 10.17 * 10^6 \left[\frac{Btu}{h} \right]$$

La eficiencia del horno será la división del calor útil gastado por el horno sobre el calor aportado por el combustible, así:

$$\eta_{HORNO} = \frac{Q_u}{Q_t} * 100$$

$\eta_{HORNO} = \frac{10.17 * 10^6}{19.1 * 10^6} * 100 = 53.24\%$	\longrightarrow	Eficiencia esperada después de la reparación del horno
---	-------------------	--

La eficiencia del horno esperada después de reparar y recuperar la zona de generación de vapor será de 53.24%.

6. TRATAMIENTO DEL AGUA PARA CALDERA (TAMBOR DE VAPOR)

En este capítulo se estudia la necesidad de implementar un método efectivo de tratamiento del agua para caldera (Domo de Vapor), ya que es necesario obtener agua químicamente pura para el fin de producción de vapor de buena calidad, evitando el daño en los equipos por deposiciones de material particulado, corrosión por altos contenidos de agentes corrosivos, erosión de los equipos por material suspendido en el agua, entre otros.

El agua sea cual sea su fuente, tiene una gran cantidad de impurezas o contaminantes que desarrollan un efecto negativo en la generación de vapor. La cantidad y clase de estas impurezas depende de la fuente de agua; el objetivo de todo tratamiento químico es reducirlas o transformarlas en compuestos pasivos, o manejables que puedan ser desalojados de los sistemas de vapor.

Los valores a que los contaminantes deben ser reducidos están determinados por la presión y temperatura de operación de los generadores de vapor, es decir, que estas variables determinan la calidad requerida en el agua.

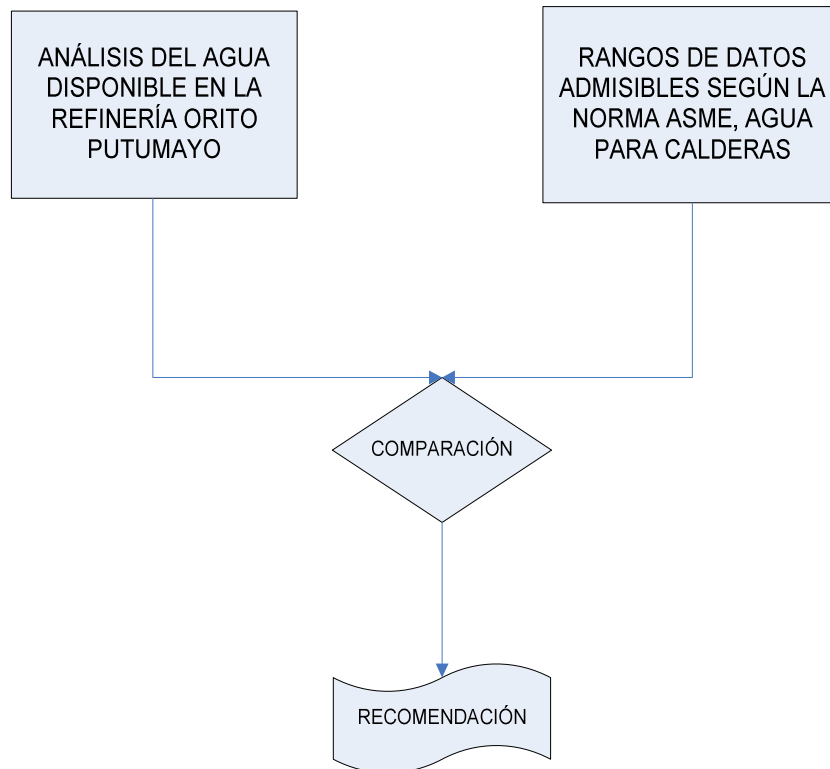
La clase de tratamiento a seguir depende del tipo y concentración de los contaminantes y de la cantidad deseada de vapor producto.

6.1 METODOLOGÍA PARA EL ANALISIS DEL TRATAMIENTO ADECUADO DEL AGUA PARA CALDERA (TAMBOR DE VAPOR)

La metodología utilizada para la búsqueda del tratamiento ideal del agua suministrada a el domo de vapor para la generación de vapor, consiste en un

estudio comparativo entre el análisis realizado al agua durante los meses de enero, febrero y marzo del 2006, y los valores admisibles según la norma ASME (Research Comité in Termal Power Systems).

Figura 63. Diagrama de la metodología utilizada en el análisis del agua



Los productos claves obtenidos en la adopción de un método recomendado para el tratamiento del agua son:

- Prevenir la formación de incrustaciones y depósitos en general
- Prevenir la corrosión por gases o ataques químicos en el Tambor de Vapor y el sistema de generación de vapor.
- Prevenir el arrastre de sólidos con el vapor y producir un vapor más limpio (ensuciamiento y espumeo)

6.2 IMPUREZAS ENCONTRADAS EN EL AGUA

Las impurezas más comunes encontradas en el agua de la refinería de orito y que mayor influencia tienen en la generación de vapor son:

- **Sólidos Suspendidos.** Consiste en materia insoluble finamente dividida, bien de tipo inorgánico tales como arcillas, precipitación de fosfato tricálcico, floc de $\text{Al}(\text{OH})_3$, o bien orgánicos, tales como aceite o grasas suspendidas. Los sólidos suspendidos tapan tuberías, producen depósitos y causan espumas.

- **Sólidos Disueltos.** Su importancia esta dada por la influencia que tienen en el arrastre de impurezas en el vapor; debe controlarse por que causan espumas.

- **Dureza.** Mide el contenido de sales de calcio y magnesio en términos de carbonatos de calcio. Estas sales forman incrustaciones en la superficie caliente del Tambor de vapor.

- **Alcalinidad.** Corresponde a la presencia de carbonatos, bicarbonatos y/o hidroxidos, expresados como carbonato de calcio; existen tres tipos:

- Alcalinidad "M" o total; neutraliza ácido hasta un ph de 4,3.
- Alcalinidad "P" o a la fonolfaleina; neutraliza acido hasta un ph de 8,3.
- Alcalinidad al OH; corresponde a la fracción del OH, se calcula a partir de valores de P Y M; alcalinidad al OH = $2 \cdot P - M$.

Debe mantenerse suficiente alcalinidad en el agua de calderas para prevenir la corrosión (PH de 10 – 11,5), igualmente suficiente cáustica libre para precipitar en magnesio como $\text{Mg}(\text{OH})_2$ y mantener la sílice en forma soluble.

La alta alcalinidad cáustica produce espuma y arrastre en el tambor de vapor y es causa de corrosión cáustica. El carbonato y bicarbonato producen CO_2 con el vapor, fuente de corrosión en condensados.

- **Sílice.** Se presenta en forma soluble o en su forma suspendida; produce incrustaciones en la caldera; a altas temperaturas; se vaporiza y forma depósitos insolubles y muy adherentes en las paredes del tambor.

- **Ph.** Es una medida de la actividad de ión de hidrógeno, que indica la alcalinidad del agua. El agua es considerada neutra cuando tiene un ph igual a 7, por debajo de este valor el agua es ácida y muy agresiva. En muchas aplicaciones industriales, el Ph determina de una manera decisiva el buen uso del agua, en calderas el Ph normal de uso está entre 10 y 11.5.

- **Materia Orgánica.** Se presenta en forma de color en el agua, sólidos suspendidos finos, cantidades pequeñas de microorganismos o grasas y aceites; producen espumeo, ocasionando arrastre de impurezas con el vapor.

- **Gases Disueltos.** Dentro de los más comúnmente presentes y causante de corrosión, está el CO_2 libre y el oxígeno disuelto. El oxígeno disuelto corroe los sistemas asociados a la generación de vapor, el CO_2 libre forma ácido carbónico en condensados haciéndolos altamente corrosivos.

- **Hierro.** El hierro, en forma de óxido se deposita en el tambor de vapor, constituyéndose en una de las mayores causas de las fallas en los tubos del generador de vapor.

- **Oxígeno.** Es el principal causante de la corrosión, por lo que debe eliminarse totalmente del sistema, antes que el agua entre en la caldera,

usando para ello la desaireación mecánica. Sin embargo, este proceso no es efectivo totalmente, por lo que es preciso inyectar al agua un secuestrante, generalmente sulfito de sodio (Na_2SO_3), que reacciona con el oxígeno libre formando sulfatos que pueden ser desalojados del sistema en forma de lodos.

6.3 CALIDAD DEL AGUA DE CALDERAS (TAMBOR DE VAPOR)

Los límites sugeridos por la ASME en general para aguas de calderas es:

Cuadro 7. Porcentajes admisibles de sílice, alcalinidad y conductividad específica en el agua para calderas según ASME.

PRESIÓN TAMBOR (Psig)	SILICE ppm	ALCALINIDAD TOTAL ppm CaCO_3	conductividad específica $\mu\text{mho/cm}$
0-300	150	350	3500
301-450	90	300	3000
451-600	40	250	2500
601-750	30	200	2000
751-900	20	150	1500
901-1000	8	100	1000
1001-1500	2	N.E	150
1501-2000	1	N.E	100

Los contaminantes en el agua de calderas causan una grave alteración en la superficie interna de los tubos, que disminuyen la eficiencia de la caldera y ocasionan serios daños, no solo en el generador de vapor sino en los equipos en donde este es usado y en los sistemas de condensación del vapor.

La calidad del agua recomendada para calderas de acuerdo con la presión del tambor es:

Es importante analizar en esta tabla los metales que se deben controlar, en el agua de alimentación a la caldera especialmente si se tienen equipos en donde el vapor intercambia calor y que están contruidos con base cobre y níquel. El control de hierro es importante en el agua de alimentación. Es importante conocer el porcentaje de hierro y cobre presente en el agua por: el cuidado de la estructura metalográfica de los tubos de la zona de convección pues el nivel de hierro y el cobre que vienen del exterior se introduce en la metalografía del tubo. Estos metales una vez allí, por tener diferentes factores de dilatación, harán que el tubo se expanda irregularmente formando adelgazamientos de pared por donde se romperán.

La importancia de conocer estos valores de metales en el retorno, también permite conocer si existen problemas de corrosión que se deben corregir en la parte externa de la caldera, como consecuencia del vapor y el condensado.

Cuadro 8. Porcentajes recomendados de Fe, Cu y dureza total según ASME.

PRESION TAMBOR (Psig)	HIERRO ppm Fe	COBRE ppm Cu	Oxigeno ppm O ₂	DUREZA TOTAL ppm CaCO ₃
0-300	0.1	0.05	0.007	0.3
301-450	0.05	0.025	0.007	0.3
451-600	0.03	0.02	0.007	0.2
601-750	0.025	0.02	0.007	0.2
751-900	0.020	0.015	0.007	0.1
901-1000	0.020	0.015	0.007	0.05
1001-1500	0.010	0.01	0.007	No detectable
1501-2000	0.010	0.01	0.007	No detectable

Cuadro 9. Recomendaciones de la American Boiler Manufactures Assosiation. En cuanto a sílice, sólidos disueltos, sólidos totales y alcalinidad

PRESION TAMBOR (Psig)	Sólidos totales ppm	Alcalinidad total ppm CaCO ₃	Sólidos Suspendedos ppm	Sílice ppm SiO ₂
0-300	3500	700	300	125
301-450	3000	600	250	90
451-600	2500	500	150	50
601-750	2000	400	100	35
751-900	1500	300	60	20
901-1000	1250	250	40	8
1001-1500	1000	200	20	2.5
1501-2000	750	150	10	1

6.4 PROBLEMAS POR IMPUREZAS EN EL AGUA

Los tres mayores problemas generales en los sistemas de calderas son: los depósitos, la corrosión y los arrastres de sólidos en el vapor.

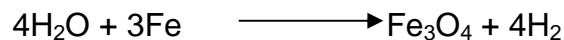
- **Depósitos.** Los depósitos o incrustaciones en las calderas, son propiciados por las altas concentraciones de contaminantes dentro de la caldera que se forman al encontrar condiciones de solubilidad para precipitarse en las paredes de los tubos. Cada contaminante tiene una solubilidad definida en el agua y cuando su solubilidad es excedida, el contaminante se precipita. La solubilidad puede ser afectada por factores externos como el calor y el PH. Si el agua esta en contacto con una superficie caliente y la solubilidad del contaminante es menor a mayor temperatura, se formará un precipitado sobre la superficie, causando una incrustación y ensuciamiento.

Los componentes más comunes de los depósitos son los silicatos de magnesio, hierro y sílice, absorbidos en los precipitados antes mencionados. Con las altas temperaturas que se encuentran dentro del domo, los depósitos

constituyen un serio problema, pues causan una mala transmisión de calor y son un peligro potencial para la rotura de tubos.

- **Corrosión.** El segundo problema relacionado con la alcalinidad del agua de calderas es la corrosión en tuberías. El ejemplo más común de corrosión es el ataque al acero por el oxígeno disuelto en el agua. Esto puede suceder en cualquier parte del sistema donde haya presencia de oxígeno. El ataque del oxígeno se acelera o agudiza por altas temperaturas y por un bajo nivel de PH. Este ataque puede ocurrir especialmente en los tubos del sistema de generación de vapor donde un flujo restringido de agua puede causar sobrecalentamiento.

Aunque la eliminación del oxígeno del agua de alimentación es el paso más importante para controlar la corrosión en el domo, esta presente de todos modos, por ejemplo, en un ataque directo de la superficie de acero del tambor en ausencia de oxígeno, de acuerdo con la siguiente reacción:



El hierro del tubo Fe_3O_4 que sale como lodo, se presenta como picado en la superficie del tubo.

- **Arrastre.** El tercer problema sobre la calidad del tratamiento del agua para caldera es el arrastre de impurezas desde el tambor de vapor hacia el sistema de generación de vapor, aguas abajo; puede deberse entre otras, a malas condiciones de operación del controlador de nivel de tambor. Este problema se cataloga como un problema mecánico, también, la alta alcalinidad dentro del tambor, genera espuma y a su vez propicia el arrastre de sólidos; el arrastre también se debe a la volatilidad de ciertas sales del

agua, como la sílice y los compuestos de sodio. Las situaciones que acarrearán arrastre de sólidos son:

- Daño en los separadores / secadores dentro del domo de vapor
- Altos niveles de agua en el tambor de vapor
- Demanda excesiva en la producción de vapor
- Descontrol del nivel del tambor de vapor

La formación de espuma puede ocurrir por:

- Exceso de sólidos disueltos en el agua
- Un PH muy alto
- Contaminación con aceite, materia orgánica o detergentes.

6.5 ANÁLISIS DEL AGUA DISPONIBLE PARA EL PROCESO DE GENERACIÓN DE VAPOR EN LA REFINERÍA DE ORITO.

Ahora veremos los análisis realizados en el agua disponible en la refinería de Orito Putumayo, este análisis se realizó en el laboratorio de caracterización de productos de la refinería en los meses de enero, febrero y marzo de 2007, se promedian y comparan con los valores admisibles según la ASME.

Cuadro 10. Resultados del análisis del agua mes de Enero de 2007.

Color UPC	Turbiedad UNT	ph	Temp °C	Dureza Total Ppm	Acalinidad Ppm	Sulfitos Ppm	Hierro Total Ppm	Cloruros Ppm	O2 Ppm	Sólidos Totales Ppm
18	8	7,5	20	4,16	29,41	2,5	0,16	4,78	8,33	3
15	3	7,6	21	4,16	14,7	2,5	0,15	5,20	8,33	10
15	5	7,6	20	4,16	14,7	2,5	0,22	5,94	8,33	11
12	5	7,4	22	4,16	29,41	2,5	0,14	5,94	8,33	5
37	5	7,38	20	12,48	14,7	2,5	0,11	7,09	8,33	13,1
24,25	6,5	9,37	25,75	7,28	25,73	1,25	0,078	2,895	4,165	4,21

Cuadro 11. Resultados del análisis del agua mes de febrero de 2007.

Color UPC	Turbiedad UNT	ph	Temp °C	Dureza Total Ppm	Acalinidad Ppm	Sulfitos Ppm	Hierro Total Ppm	Cloruros Ppm	O2 Ppm	Sólidos Totales Ppm
18	3	7,5	20	4,16	29,41	2,5	0,16	4,78	8,33	10
15	3	7,6	21	4,16	14,7	2,5	0,15	5,20	8,33	10
15	3	7,6	20	4,16	14,7	2,5	0,22	5,94	8,33	11
12	5	7,4	22	4,16	29,41	2,5	0,14	5,94	8,33	13
12	5	7,38	20	12,48	14,7	2,5	0,11	7,09	8,33	13,1
11	4	7,5	20	4,16	14,7	2,5	0,18	5,30	8,33	14
10	5	7,6	21	4,16	14,7	2,5	0,2	5,30	8,33	13
25,75	7,75	14,995	41,25	10,4	36,755	2	0,131	4,485	6,664	9,71

Cuadro 12. Resultados del análisis del agua mes de marzo de 2007.

Color UPC	Turbiedad UNT	ph	Temp °C	Dureza Total Ppm	Acalinidad Ppm	Sulfitos Ppm	Hierro Total Ppm	Cloruros Ppm	O2 Ppm	Sólidos Totales Ppm
25	5	7,5	21	4,16	29,41	2,5	0,25	5,31	8,23	30
15	8	7,5	21	4,16	29,41	2,5	0,25	5,31	8,23	35
18	6	7,4	21	4,16	29,41	2,5	0,2	5,24	8,23	25
20	5	7,56	20	4,16	29,41	2,5	0,22	5,31	8,23	20
25	8	7,5	21	4,16	29,41	2,5	0,23	5,40	8,23	28
18	5	7,5	20	4,16	29,41	2,5	0,23	5,31	8,23	26
25	4	7,4	20	4,16	29,41	2,5	0,23	5,40	8,23	35
17	8	7,31	21	4,16	29,41	2,5	0,24	6,05	8,23	33
20	5	7,2	21	4,16	29,41	2,5	0,23	5,31	8,23	30
20,8	5,9	7,41	20,7	4,577	29,41	2,5	0,233	5,395	8,23	29,4

De esta manera se obtienen los resultados para las mediciones del análisis del agua promedio por mes, de allí se halla el promedio total.

Cuadro 13. Resultados del análisis del agua promedio total.

Color UPC	Turbiedad UNT	ph	Temp °C	Dureza Total Ppm	Acalinidad Ppm	Sulfitos Ppm	Hierro Total Ppm	Cloruros Ppm	O2 Ppm	Sólidos Totales Ppm
24,2	6,5	9,37	25,75	7,28	25,73	1,25	0,078	2,895	4,165	4,21
25,7	7,75	14,99	41,25	10,4	36,755	2	0,131	4,485	6,664	9,71
20,8	5,9	7,41	20,7	4,557	29,41	2,5	0,233	5,395	8,23	29,4
23,6	6,71	10,5	29,23	7,41	30,631	1,91	0,147	4,25	6,353	14,44

El tambor de vapor trabaja a una presión de 120 psig entonces hacemos la comparación entre los límites admisibles para esta presión

Cuadro 14. Comparación entre los valores admisibles y los valores medidos.

	Ph	Dureza total ppm	Alcalinidad ppm	Hierro ppm fe	O2 ppm	Sólidos totales ppm
permisible	10-11,5	0,2	350	0.1	0.007	3500
promedio	10,59166667	7,4123	30,631	0,147	6,353	14,44

Como se puede observar en la tabla 8 los valores de PH, alcalinidad y sólidos totales se encuentra entre los valores admisibles que da la norma ASME para una presión entre 0 y 300 psig, siendo la nuestra de 120 psig. Mientras que la dureza total del agua, el hierro (Fe) y el oxígeno (O₂) presente en el agua esta por encima de los valores admisibles que da la norma. De esta manera queda claro que uno de los principales problemas en la generación de vapor es el tratamiento del agua para caldera, de esto podemos concluir las excesivas deposiciones de lodos dentro del domo, la picadura presente en el suelo y parte de las paredes del tambor y la erosión del suelo.

6.6 CONTROL DE IMPUREZAS EN EL AGUA

Una vez notado el problema de las impurezas presentes en el agua, se exponen a continuación los posibles métodos a implementar para evitar los daños que se han estado presentando en la actualidad en la refinería en cuanto al sistema de producción de vapor.

Figura 64. Pozo de reposo de agua industrial refinería orito putumayo



Para tener una operación satisfactoria del generador de vapor es necesario tener un control adecuado del agua de alimentación y del vapor efectuando para este propósito una toma de muestras en lugares y períodos preestablecidos como se ha venido implementando en la planta, el objeto del tratamiento del agua consiste generalmente en corregir la composición química de los compuestos del agua. Teóricamente es posible estimar dicho tratamiento basado en el análisis de la muestra de agua. Sin embargo existen muchas variables que operan internamente haciendo tal tratamiento poco práctico y necesitando frecuentemente análisis y corrección.

Los principales constituyentes que deben ser controlados y la razón por la cual debe hacerse se muestra a continuación.

Cuadro 15. Impurezas en el agua y prevención.

CONSTITUYENTE	PREVENCIÓN
Alcalinidad y PH	Corrosión
Oxígeno	Corrosión debida al O ₂ disuelto
Fosfatos	Costras
Sílice	Depósitos en la Caldera
Sólidos totales	Contaminación del vapor

Existen varios métodos que se pueden implementar en la refinería para tratar el agua del tambor de vapor, estos se pueden clasificar en:

a. Tratamiento Mecánico

El tratamiento mecánico del agua se hace en dos procedimientos:

Filtración. La cual remueve la materia suspendida, pero no materiales disueltos, esta se hace haciendo pasar el agua por una serie de filtros que pueden ser arenas, carbón mineral, entre otros, que atrapan el material particulado.

Purgado de la caldera. Se busca controlar la concentración de químicos y de impurezas con la extracción de una porción del agua de la caldera. Cuando esta extracción se hace en forma permanente, se denomina purga continua y la cantidad de purga se controla con la abertura de la válvula de control de la purga y de acuerdo al valor a controlar de los residuales químicos.

La purga intermitente o extracción o extracción de fondo, se hace en forma esporádica desde el fondo del tambor inferior de la caldera con el fin de desalojar los lodos formados que tienden a depositarse en los puntos bajos del circuito de la caldera, especialmente en los colectores laterales del fondo.

- **Purga Superficial:** se usa para remover natas o espumas que se acumulan en la superficie del agua que va a la alimentación del tambor
- **Purga de Lecho del Tambor:** es usada para eliminar lodos, pedazos de costra y otros materiales finos que pueden acumularse dentro de la caldera

- Purga Continua: es usada principalmente para reducir los constituyentes solubles.

b. Tratamiento Químico: otra manera de controlar el agua para calderas es el método químico que se puede realizar de dos maneras:

- Tratamiento Externo del agua: existen varios procesos de tratamiento, ya sea utilizando uno de ellos o combinaciones, se puede adaptar a cualquier abastecimiento de agua para calderas. La conveniencia de los procesos se juzga por los resultados de calidad que producen y por los costos implicados.

Este se hace con sustancias químicas fuera de la caldera como: soda cáustica fría, soda cáustica caliente, fosfato caliente, sodio zeolita, hidrógeno zeolita, desmineralizador. El programa de tratamiento del agua, enfoca generalmente su objetivo al control de impurezas tales como: control de dureza, control de sílice, sólidos suspendidos, alcalinidad, PH, sólidos disueltos totales, materia orgánica y gases disueltos. Por lo general, este tratamiento se realiza mediante el proceso de desmineralización con base en resinas de intercambio iónico.

- Tratamiento Interno del Agua: se realiza sobre el agua dentro de la caldera y sobre el condensado de retorno, usando productos químicos que reaccionan con los indeseables del agua. Este tratamiento interno es un complemento del tratamiento externo y maneja impurezas o contaminantes que entran a la caldera. El grado de concentración de estas impurezas depende de la clase de tratamiento externo aplicado y se mide generalmente según los siguientes parámetros: PH, alcalinidad, dureza, sílice, cloruros, CO₂, hierro y oxígeno.

Este método consiste en agregar sustancias químicas seleccionadas al agua de la caldera en razón a eliminar precipitantes químicos en las bombas de alimentación y de costras que se adhieran a las paredes de la caldera. Muchos de estos productos químicos son baratos y se encuentran fácilmente en el mercado. Cada elemento químico tiene su función particular y la concentración puede ser controlada dentro de ciertos límites por medio de análisis químicos frecuentes.

7. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y PLAN DE SUGERENCIAS PARA MEJORA DEL HORNO F1.

En este capítulo se trata el análisis de resultados de la inspección de integridad realizada al horno, el calculo de la eficiencia del horno en condiciones de operación actuales y la eficiencia esperada después de reparación, el estado del suministro de agua y las líneas de transferencia de vapor en la planta, el tratamiento de agua que se debe implementar para evitar el daño en los equipos de refinería y de igual forma se realiza un plan de sugerencias extras para mejora del horno F1.

7.1 ANALISIS DE RESULTADOS

7.1.1 Análisis de resultados de la inspección de integridad. El análisis de los resultados de la Inspección de Integridad realizada al Horno F1, podemos afirmar que los **Mecanismos de Falla**¹¹ asociados a los problemas encontrados son:

- **Termofluencia:** es el mecanismo que explica el pandeo de los tubos en la zona de choque del horno, la termofluencia es la deformación que tiene el material cuando se eleva a una temperatura muy alta, aproximadamente al punto de fluencia, el pandeo presentado en la zona de choque no representa una amenaza a corto plazo, por esto es necesario cambiar la tubería pandeada inmediatamente.
- **Sulfidación:** se presenta en las tuberías de la zona de radiación, en la zona de generación de vapor y en el domo de vapor, su morfología son

¹¹ Según norma API 581.

socavaduras que se pudieron apreciar con simple inspección visual, la sulfidación es una corrosión que se presenta en aceros al carbono y algunas aleaciones como resultado de su reacción con componentes de sulfuros provenientes de los residuos de la combustión del fuel oil en ambientes de altas temperaturas

- Grieta: se presentó una grieta en la soldadura que une al domo con el accesorio lateral, el mecanismo asociado a esta falla es por agrietamiento de soldadura de dos materiales diferentes.

- Laminación: es un espacio que se presenta en el espesor del material, siendo un defecto propio de la fabricación de este, se presumió que hay laminación en el material de la chimenea del horno, por esto es necesario comprobar con medición de espesores con SCAN B.

- Oxidación: se presenta este defecto de manera generalizada en las tuberías de radiación y convección y en en el interior del domo de vapor. La reacción del O₂ con aceros al carbono y otras aleaciones a alta T, convierte el material en oxido. Esta oxidación comienza a tener importancia por encima de 2000°C a partir de esta la rata de perdida de material aumenta con el aumento de temperatura, como las temperaturas de trabajo en el horno, no alcanzan los 2000°C no representan una amenaza a corto plazo.

7.1.2 Análisis de la Eficiencia Calculada. De los cálculos de la eficiencia se puede analizar que después de recuperar el sistema de generación de vapor, se aumentará la eficiencia que actualmente tiene el Horno en las condiciones reales.

Este aumento se puede hallar con una simple resta de esta forma:

$$\text{Aumentodelaeficiencia} = \eta_{\text{ESPERADA}} - \eta_{\text{ACTUAL}} = 55.62 - 43.56 = 12.06\%$$

Como vemos se puede obtener un incremento de 12.06% en la eficiencia del horno, lo que representa un ahorro considerable en el costo de producción de vapor, ya que actualmente se esta perdiendo energía que se puede utilizar para este fin.

7.1.3 Suministro de Agua. Para el suministro de agua y recirculación de la misma en la zona de generación de vapor, se cuenta actualmente con las bombas e instrumentación requeridas, se hace necesario hacer pruebas hidrostáticas para comprobar la capacidad de los mismos ya que han estado fuera de servicio en intermitentes ocasiones.

7.1.4 Líneas de Transferencia de Vapor. En ciertos puntos se presentan cortes o daños en el MCO-T. Como los mostrados en la Figuras. Las reparaciones del MCO-T y algunos tramos que están con aluminio, sumarían unos 20 metros de longitud.

Se recomienda lavar manualmente todo el revestimiento y luego proceder a pintar de acuerdo al código de colores para cada tubería. El lavado puede realizarse con elementos sencillos (jabón, cepillo, etc.).

7.1.5 Análisis del Tratamiento que se debe dar al Agua. El tratamiento que se debe dar al agua debe ser una combinación de Tratamiento Mecánico y Químico ya que los resultados de los análisis hechos al agua de la refinería demuestran que se debe procurar eliminar el exceso de oxígeno, dureza y hierro presente en el agua, esto se debe hacer ya que los elementos mencionados son los principales productores de defectos como la deposición

y la socavadura dentro de los elementos que trabajan con agua o vapor de agua.

7.2 PLAN DE SUGERENCIAS PARA MEJORA DEL HORNO F1

Otras sugerencias generales para mejorar la operación y evitar problemas en el Horno F1, se listan a continuación:

- El gorro chino de la chimenea tiene un diámetro de cobertura similar al diámetro de la chimenea, con el agua lluvia y vientos en cualquier dirección, esta se introduce al interior de la chimenea afectando el refractario. Se recomienda para la próxima parada aumentar el diámetro de la falda del gorro chino en 10 cm. de ancho, utilizando un acero al carbono ASTM A-36 con un espesor de 1/8 de pulgada.
- Para evitar la entrada de agua a la zona de convección durante las paradas se recomienda instalar un plástico a la altura del damper, adicionalmente cerrar el damper.
- Realizar una inspección por ultrasonido tipo scan B del primer anillo de la chimenea para verificar si la reducción de espesor se debe a un daño por laminación o a la presencia de un daño localizado por corrosión.
- Dado que el horno tiene las facilidades para la instalación del medidor de oxígeno y del medidor de la presión de tiro, se recomienda la compra e instalación de estos dispositivos para la próxima parada, por seguridad de la operación y del equipo. Consultar especificaciones con el Ing. Francisco Cala y/o Jacqueline Saavedra Rueda de la GCB.

- Se recomienda la instalación de una termocupla de piel en la tubería de choque en la zona central de uno de los tubos de la fila inferior, para tener control de la temperatura de los gases que salen de la zona de radiación y pasan a la zona de convección.
- Se recomienda la instalación de termocuplas de piel en el tubo 4 contado de abajo hacia arriba en la zona oriental de la pared sur y en la zona occidental de la pared norte, para el control de temperatura de llama en el horno.
- Para regular la temperatura, es indispensable independizar los quemadores, en este momento todos están conectados a un “manifold”, con una sola válvula reguladora y un solo indicador de presión. Se debe colocar un sistema que permita regular la presión y el encendido de pilotos y quemador separadamente. Recomendamos solicitar la elaboración de una ingeniería de detalle, para cotizar la consecución de la instrumentación y los accesorios requeridos. Adicionalmente, se debe independizar el suministro de combustible para quemadores del sistema de carga del horno. Por diseño, la presión de gas a pilotos es de 5 psig, la del combustible 60 psig y la del vapor de atomización de 120 psig.
- Teniendo en cuenta el estado de los internos, se recomienda la fabricación completa de este accesorio preferiblemente en un acero inoxidable AISI 304. Las válvulas y los anillos de sello que regulan el despojo también se deben construir en este material.
- El cilindro del despojador de ACPM D-2 se encuentra en buen estado pero el aislamiento externo y el foil de aluminio requieren cambio completo en la próxima parada programada.

- Teniendo en cuenta el estado de los internos, se recomienda la fabricación completa de este accesorio preferiblemente en un acero inoxidable AISI 304. Las válvulas y los anillos de sello que regulan el despojo también se deben construir en este material.

CONCLUSIONES

- Se hizo la inspección de integridad del horno desde el punto de vista mecánico y metalúrgico y se definieron las tareas necesarias para ponerlo a punto, y encaminar un buen mantenimiento para optimizar las condiciones de operación del horno.
- Se diseñó el planeamiento y protocolo (personal necesario y maquinaria) para la recuperación del sistema de generación de vapor (Reinstalación de la tubería faltante), y puesta a punto del Horno F1, con un presupuesto requerido de 57'450.000.
- Se determinó que la eficiencia del Horno en condiciones de Operación actual es de 41.2%, de igual forma la eficiencia esperada después de la puesta a punto del Horno F1 en la refinería de Orito Putumayo, es de 53.24, lo que nos demuestra que el incremento en la eficiencia después de reparar el horno es de 12.04%.
- Se Analizó el estado del suministro de agua para la generación de vapor igual que de los elementos que consumen vapor y las líneas de suministro fueron identificadas mediante, el análisis de los planos existentes en la planta.
- Se determinaron los principales problemas presentes en el agua disponible en la refinería de manera que se pudo establecer la solución para el tratamiento adecuado que se debe dar al agua.

- Se elaboró un plan de sugerencias para mejora del Horno F1, que están encaminadas a la optimización del proceso desde el punto de vista técnico y operativo.
- En la práctica empresarial se desarrollaron habilidades y destrezas propias del trabajo de ingeniería, formadas desde la confrontación con problemas reales presentes en la cotidianidad de la industria.
- En concordancia con la misión de la escuela de crear vínculos en pro de la comunidad, la práctica empresarial genera una interacción directa de la vida estudiantil (universidad) con la empresa, ante una problemática real.

BIBLIOGRAFÍA

- API. 560. Fired Heaters for General Refinery Service. 2003
- API. 571. Damage Mechanisms Affecting Fixed Equipment in the Refinery Industry. Recommended Practice. 2003.
- API 580. Risk Based Inspection. Recommended Practice. 2003
- API 581. Risk Based Inspection. Based Resource Document. 2003.
- BRIZUELA, E. y ROMANO, S. Combustión. 2003.
- DISTRAL S.A. Manual de Operación y Mantenimiento. Horno Refinería Orito. 1988.
- ECOPETROL. Materiales de Ingeniería. Piedecuesta 2007.
- GANAPATHY, V. Applied Heat Transfer. Pennwell Books. Tulsa 1982.
- INCROPERA, Frank P. y DENITT, David P. Fundamentos de Transferencia de Calor. 4ª Ed. Prentice Hall . Mexico 1999.
- MARADAY CHARRIS, Juan Francisco. Termodinámica Aplicada. Ediciones Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga 2002.
- RENGIFO LUNA, José Raúl. Hornos de Proceso-Fundamentos. 1^{era} Ed. Barrancabermeja 2002.

RODRÍGUEZ GUERRERO, Gonzalo. Operación de Calderas Industriales.
1^{era} Ed. Ecoe Ediciones. Santafé de Bogotá 2000.

TECVAL S.A. Manual Deshollinadores Para Calderas.

ANEXO

DATA SHEET HORNO F1

distral BOGOTÁ - COLOMBIA CUSTOMER ECOPETROL I.O.P. 5989
 LOCATION PUTUMAYO PLANT ORITO

DATA SHEET DRAWING No. 5989-0907-0003 REY
 PRESSURE SWITCHES TEMPERATURE SWITCHES AND WELLS

1 GENERAL

2	TAG No.	<u>DPS-01102</u>		
3	MANUFACTURER	<u>DWYER</u>		
4	MODEL	<u>1633-0</u>		
5	QUANTITY	<u>TWO (2)</u>		
6	SERVICE	<u>PURGE AIR</u>		

8 SERVICE CONDITIONS

9	EQUIP. OR LINE SIZE & SPEC.	<u>1/4" - A170</u>		
10	FLUID	<u>AIR</u>		
11	TEMP. NORMAL	MAX.	<u>80°F 104°F</u>	
12	PRESS. NORMAL	MAX.	<u>0.5 1</u>	
13	UNITS	RANGE	<u>in H₂O 0.25-1.5</u>	
14	SET POINT	<u>0.1 in H₂O</u>		

16 PRESSURE ELEMENT

17	TYPE	MATERIAL	<u>DIAPHR. RUBBER</u>	
18	CONN. SIZE	LOCATION	<u>1/2" NPT UPPER</u>	

19 TEMPERATURE ELEMENT

20	TYPE	X				
21	BULB CONN. SIZE				LOCATION	
22	BULB MATERIAL					
23	EXTENSION MATERIAL					
24	TUBING TYPE				MATERIAL	LENGTH
25	WELL CONN. SIZE & TYPE					
26	WELL MATERIAL					
27	INSERTION LENGTH					
28	LAG EXTENSION					

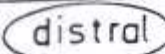
30 SWITCH

31	QUANTITY	FORM	<u>ONE (1) SPDT</u>	
32	CONDUIT CONN. SIZE	<u>1/2" NPT</u>		
33	RATING VOLT	Hz or DC	<u>120V, 60HZ</u>	
34	LOAD	RES.	IND.	<u>IND</u>
35	AMPERES	<u>10A</u>		
36	OVER	UNDER	SET POINT ACTION	<u>X UNDER</u>
37	DIFFERENTIAL	MIN	MAX	FIXED
38	NEMA ENCLOSURE	<u>NEHA 7</u>		
39	SPECIAL FEATURES	<u>CLASS I, DIV III</u> <u>GROUPS C&D</u>		

41 NOTES:
 42
 43
 44

2					5
1					4
0	FOR ORDER	25.05.84	GRF	J	3

REV. DESCRIPTION DATE BY APPR. REV. DESCRIPTION DATE BY APPR.

 BOGOTA - COLOMBIA		CUSTOMER <u>ECOPETROL</u> IDP <u>6989</u> LOCATION <u>MUMBOYO</u> PLANT <u>CEFIN. DEL RL</u>	
DATA SHEET FOR PUMPS		<u>5989-11-25-0001</u> CIRCULSTON WATER	
		REV SHEET <input checked="" type="checkbox"/> 1 of 1	
GENERAL		MATERIALS	
1 TAG No.	P-2	PUMP: DUCTILE IRON	
2 MANUFACTURER	GOULDS		
3 MODEL	3196 MT		
4 TYPE	1x2-10		
5 QUANTITY	2		
6 SERVICE	CIRCULSTON	BASE PLATE: CAST IRON	
7 CAPACITY CURVE	2111-4		
SERVICE CONDITIONS		AUXILIARY PIPING	
11 CAPACITY: GPM (DPM) / 29.64 / Hr	13,000 =	BEARING COOLING	PIPE CS SS TUBING CS SS
12 TOTAL DISCHARGE HEAD	77.7 FT	SEAL FLUSH	PIPE CS SS TUBING CS SS
13 NET POSITIVE SUCT HEAD AVAIL/REQ	1. FT	SEAL LEAK DETECTOR	
14 OPERATING TEMPERATURE	310. °F	CYCLONE SEPARATORS	
15 SUCTION PRESSURE	130. PSIG	VENT DRAIN PIPE	PIPE CS SS TUBING CS SS
16 DISCHARGE PRESSURE	160. PSIG	VALVES	
FLUID CONDITIONS		PIPED TO EDGE OF SKID	
18 LIQUID PUMPED	WATER	OTHER PIPING:	
19 VAPOR PRESS AT OP. TEMPERATURE			
20 SPECIFIC GRAVITY AT OP. TEMPERATURE	0.92		
21 VISCOSITY AT OP. TEMPERATURE			
PUMP PERFORMANCE		VERTICAL PUMPS - NO	
24 PUMP SPEED RPM	1800.	DEPHT:	
25 BHP AT MAX. CONDITION	2.74	MIN. SUBMERGENCE REQ'D	
26 EFFICIENCY	31 %	COLUMN PIPE:	FLANGE THREADED
27 PERFORMANCE CURVE No.	2111-4	LINE SHAFT:	OPEN ENCLOSED
28 IMPELLER DIAMETER	8 1/8"	BEARINGS:	BOWL LINE SHAFT
DRIVER		BEARINGS LUBE:	WATER OIL GREASE
30 MOTOR YES	TURBINE	31	32
31 R.P.M.	R.P.M.	33	34
32 H.P.	H.P.	35	36
33 VOLTS	INLET PRESS	37	38
34 P.H.	INLET TEM	39	40
35 C.Y.	EXHAUST PRESS	41	42
36 FRAME SIZE	ROTATION	SHOP TESTS	
37 STARTER TYPE	ARRANGEMENT	NON-WIT. PERF	WIT. PERF
38 STARTER MAKE	REDUCTION GEAR	NON WIT. HYDRO	WIT. HYDRO
39 BASE		NPSH REQ'D	WIT. NPSH
PUMP ACCESSORIES		DISMANT AND INSP. AFTER TEST	
41 BEARINGS TYPE	LUBE	OTHER:	
42 COUPLING <input checked="" type="checkbox"/>	MANUFACTURER	WEIGHTS	
		PUMP (LBS)	BASE MOTOR (LBS) TURBINE
NOTES: THE MOTOR SHALL BE EXPLOSION PROOF (TEFC) CLASS I GROUP C AND D			
2		3	
1	ADICIONALES DATOS DEL FABRICANTE 7-1-25 GAL	4	
0	PAGO COMPA 13x67 GAL	3	



EGOPETROL 189 5089

DATA SHEET FOR PUMPS

5089-11-25-0002
BOILER FEEDWATER

3/7/57

GENERAL		MATERIALS			
TAG No	FWD-1/FWD2	PUMP:			
MANUFACTURER	HIDROMAC TURB				
MODEL	65T				
TYPE (SERIE)	880953				
QUANTITY	2				
SERVICE	FEEDWATER	BASE PLATE:			
CAPACITY CURVE					
SERVICE CONDITIONS		AUXILIARY PIPING			
CAPACITY GPM (RPT)	3	BEARING COOLING	PIPE	C.S.	TUBING
TOTAL DISCHARGE HEAD (FT)	427	SEAL FLUSH	PIPE	C.S.	TUBING
NET POSITIVE SUCT HEAD AVAIL/REQ	< 3 FT	SEAL LEAK DETECTOR			
OPERATING TEMPERATURE	90°	CYCLONE SEPARATORS			
		VENT DRAIN PIPE	PIPE	C.S.S.	TUBING
		VALVES			
FLUID CONDITIONS		PIPED TO EDGE OF SKID			
LIQUID PUMPED	WATER	OTHER PIPING:			
VAPOR PRESS AT OP TEMPERATURE	0.7 PSIA				
SPECIFIC GRAVITY AT OP TEMPERATURE	0.952				
VISCOSITY AT OP TEMPERATURE	0.73 Cp				
PUMP PERFORMANCE		VERTICAL PUMPS			
PUMP SPEED RPM	1750	DEPTH:			
BHP AT MAX CONDITION	5	MIN SUBMERGENCE REQ'D			
EFFICIENCY		COLUMN PIPE	FLANGE	THREADED	
PERFORMANCE CURVE No		LINE SHAFT	OPEN	ENCLOSED	
IMPELLER DIAMETER		BEARINGS	BOWL	LINE SHAFT	
DRIVER		BEARINGS LUBE	WATER	DIX	GREASE
MOTOR	TURBINE	MARATHON	FLOAT & ROD	C.S.S.	BRONZE
R.P.M	R.P.M	1800	FLOAT SWITCH		
H.P	H.P	5	PUMP THRUST LB	UP	DOWN
VOLTS	INLET PRESS	460	SHOP TESTS		
P.H	INLET TEM	3	NON-WIT PERF	WIT PERF	
C.Y	EXHAUST PRESS	60 Hz	NON WIT HYDRO	WIT HYDRO	
FRAME SIZE	ROTATION	180T	WPSH REQ'D	WIT WPSH	
STARTER TYPE	ARRANGEMENT		SHOP INSPECTION		
STARTER MAKE	REDUCTION GEAR		DISMANT AND MSP AFTER TEST		
BASE					
PUMP ACCESSORIES		OTHER:			
BEARINGS TYPE	LUBE	WEIGHTS			
COUPLING	MANUFACTURER	L-125	PUMP	BASE	MOTOR
					TURBINE
NOTES:					
2	CHANGE CONDITIONS DE OPERACION MAR 1957	JE		5	
1				4	
0				3	
REV	DESCRIPTION	DATE	BY	APPR	REV

PETRO-CHEM DEVELOPMENT CO., INC.
BURNER DATA SHEET

Job No.: 87-F-1407
 Date: Sept 15, 1987

IDENTIFICATION:

Client: Refineria Orito, Eccontrol Location Colombia
 Service: Crude Heater Elevation Sea Level

FURNACE:

Type Horizontal Cabin Firing Length 12 ft ± to Root Tube
 Burner Location Floor Burner ϕ to tube ϕ 3-10 1/2
 Burner Spacing _____ Tube Size 3.5" OD

BURNERS: Internal atmosphere shall be nitrogen nitrobenzene vapor and have a max 5°C air hardness of 1000 ppm
 Tip shall be high speed tool steel (18-8, 1/2 wt. V. or equal), hardened to J5 Rockwell C
 Type Oil Only, MA-Q or Ea Quantity (4) Manufacturer J ZINK or Ea
 Pilots Electric Ignition Burner Blocks By Vendor
 Heat Release per Burner: _____

	MM Btu/Hr	Excess Air	Draft at Burners & Site Elevation
Maximum	<u>441</u>	<u>20%</u>	<u>0.17" H₂O</u>
Normal	<u>3.53</u>	-	"
Minimum	<u>140</u>	-	"

NOISE ABATEMENT DEVICE:

Type Integral Plenum Furnished By Vendor Draft Loss By Vendor
 Maximum Permissible Noise Levels: 85 dBA

Frequency	DB	Frequency	DB
20 - 75		1200 - 2400	
75 - 150		2400 - 4800	
150 - 300		4800 - 9600	
300 - 600			
600 - 1200			

Reading Location 3 ft from furnace at floor level

FUEL GAS:

Type _____ .H.V. _____ Available Pressure _____
 Temperature _____ Sp. Gr. _____ M.W. _____
 Compositions: _____

FUEL OIL:

Type Fuel Oil L.H.V. 18760 BTU/lb Available Pressure 60 PSI
 Temperature 62.5°F Sp. Gr. 17.8 API Viscosity 238 cP @ 122°F
 Atomizing Steam 125/350 (P/T)
 Impurities: Sulfur 1.5% wt Vanadium 90 ppm
 Sodium 2 ppm Others Ash 0.11% wt

OTHER FUEL:

Type _____ .H.V. _____ Available Pressure _____
 Temperature _____ Compositions: _____

NOTES:

- Vendor to guarantee - No flame impingement against heater tubes, cone or refractory.
- Vendor to submit performance curves for all fuels.
- Vendor to provide burner noise data.
- Vendor to submit 3 prints and 2 copies for approval within 3 weeks after order showing 7" castable floor and indicating complete burner details with opud and tip drillings.
- Vendor to provide 6 copies burner operating instructions.
- Vendor to provide 2 copies priced spare parts list.



PETRO-CHEM
DEVELOPMENT CO., INC.

Revision 3

Proposal No. 85-NE-9448 Date February 13, 1987
 Purchaser/Owner ECOPELROL Location Columbia
 Item _____ Service Crude Heater Unit _____
 No. Required One (1) Type Horizontal Cabin
 Total Duty, MM BTU/Hr 8.5 (Process) + 3.92 (Steam) = 12.42 (Total Design)

PROCESS DESIGN CONDITIONS

Heater Section	Process	
	Radiant-Convection	Steam Convection
Service	Crude Heater	Steam GEN
Heat Absorption, MM BTU/Hr.	8.5	3.92
Fluid	Semi-light Crude	BFW
Flow Rate, Lb/Hr.	38000	12500
Flow Rate, BPD.	3000	
Pressure Drop, psi (Allowable)	(1)	
Pressure Drop, psi (Calculated)	*125(1)	3
Average Flux Density, BTU/Hr/Sq. Ft. (Allowable)	Radiant 10,000	
Average Flux Density, BTU/Hr/Sq. Ft. (Calculated)	Radiant 10,000	
Maximum Flux Density, BTU/Hr/Sq. Ft.	Radiant 18,000	
Mass Velocity, Lb/Sec/Sq. Ft.	205.6(1)	39.3(1)
Number of Passes	1	1

INLET CONDITIONS:		Temperature, Deg F	400	300
		Pressure (2000) (psig)	155 (1)	123
		Liquid Flow, Lb/Hr. Vol. % (Crude)	38000 (1)	(12500)
		Vapor Flow, Lb/Hr. Vol. % (Crude)	(1)	-
		Liquid (Deg API) (30.5)	32.5	
		Vapor, Molecular Weight		
		Liquid Viscosity, Cp		
OUTLET CONDITIONS:		Temperature, Deg F	703	350
		Pressure (2000) (psig)	30	120
		Liquid Flow, Lb/Hr. Vol. % (Crude)	39.0	8750
		Vapor Flow, Lb/Hr. Vol. % (Crude)	61.0	3750
		Liquid (Deg API) (Sp Gr at 60 F)		
		Vapor, Molecular Weight	147	18
		Liquid Viscosity, Cp		

(1) *Pressure drop is 140psi for light crude, 35 klb/hr flow & 7.5 MM Btu/hr duty

COMBUSTION DESIGN CONDITIONS

Type of Fuel	Oil
Excess Air, Percent	20
Guaranteed Efficiency, Percent (LHV)	87.0
Calculated Efficiency, Percent (LHV)	88.0
Radiation Loss, Percent of Heat Release (LHV)	2.0
Flue Gas Temperature, Deg F, Leaving Radiant Section	1625
Flue Gas Temperature, Deg F, Leaving Convection Section	450
Flue Gas Mass Velocity Through Convection Section, Lb/Sq Ft/Sec	0.359



W

COMBUSTION DESIGN CONDITIONS (CONT'D)

Type of Fuel	Oil
Draft at Bridge Wall, In. H ₂ O	0.05
Draft at Burners, In. H ₂ O	0.16
Altitude, Ft Above Sea Level	S.L.
Calculated Heat Release, MM BTU/Hr (LHV)	14.11
Volumetric Heat Release, MM BTU/Hr/CuFt	

FUEL CHARACTERISTICS

Type of Fuel	Fuel Oil
Heating Value: HHV	
LHV BTU/#	18760
Specific Gravity	17.8° API
H/C Ratio (by Weight)	
Temperature at Burner, Deg F	
Viscosity: At _____ F.	
At _____ F.	
Fuel Pressure Available at Burner, psig	60
Atomizing Steam Pressure, psig	120
Vanadium Content, ppm	
Sodium Content, ppm (for Liquid Fuels)	90/2
Sulfur Content, Percent by Weight	1.5
Gas: Molecular Weight	
Composition, Mole Percent	

MECHANICAL DESIGN CONDITIONS

General	
Plot Limitations	Stack Limitations
Tube Limitations	Other Limitations
Structural Design Data: Wind Load	70 MPH
Seismic Factor	0.25

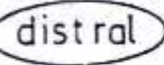
Coil Design	Process		Steam
	Radiant	Convection	Convection
Heater Section			
Design Pressure, psig	200	200	200
Design Fluid Temperature, Deg F	710	400	400
Corrosion Allowance: Tubes	0.125"	0.125"	0.125"
Fittings	0.125"	0.125"	0.125"
Tube Circle Diameter, Ft.			
Number of Passes	1	1	1
Overall Tube Length, Ft	(1) 15'-3"	13'-6"	13'-6"
Effective Tube Length, Ft	(1) 15'-10/4"	12'-0"	(12'-0"
Bare Tubes:			
Number	(1) 50	10 (1)	-
Total Exposed Surface, Sq Ft	728	110 (1)	
Extended Surface Tubes			
Number	-	-	24
Total Exposed Surface, Sq Ft			1290
Tube Spacing, Center to Center, In	(1) 6	6	8
Tube Center to Furnace Wall, In, Min	1.5 x D		1/2 Space Corb.
Stress Relieve	Yes		No
Weld Inspection	100%		100%



Coil Design (Cont'd)	Process	Steam
Heater Section	Radiant Convection	Convection
Tubes		
Vertical or Horizontal	Horizontal	
Tube Material (ASTM Specification)	5Cr-1Mo (A335 P5)	C.S. (A106 GrB)
Outside Diameter, In	(1) 3.5	4.5
Wall Thickness, (300000) (Average), In	Sch 40	Sch 40
Maximum Tube Wall Temperature, Deg F (Design)	900	700
Design Basis for Tube Wall Thickness	API RP 530	ASME I
Extended Surface:		
Type	None	1/2" Dia. Studs
Fin or Stud Material		C.S.
Fin or Stud Dimensions		1" H
Fin or Stud Spacing		19. ZPL/PT x 16ST/PL
Maximum Fin or Stud Temperature		625°F
Plug-Type Headers		
Manufacturer and Type	None	
Material (ASTM Specification)		
Nominal Rating		
Location		
Welded or Rolled		
Return Bends		
Wrought or Cast	Wrought	
Material (ASTM Specification)	A-234 WP5	A-234 WPB
Nominal Rating or Schedule	Sch 40	
Location	Firebox	Header Box Header Box
Terminals		
Type	Flanged	
Material (ASTM Specification)	A-182 F5	A-181 GrI
Location	Outlet Inlet	Inlet & Outlet
Welded or Rolled	Welded	
Flange Rating	3" x 300# WNRF (1)	4" x 300# WNRF
Crossovers		
Welded or Flanged	Flanged	None
Pipe Material (ASTM Specification)	A-335 P5	
Pipe Size and Wall Thickness	3" IPS x Sch 40 (1)	
Location	External	
Flange Rating	3" x 300# WNRF (1)	
Tube Supports		
Ends, Top, Bottom	None	Ends
Material	C.S.	
Thickness	1/2"	
Type and Thickness of Insulation	5" LHV & 304S.S. Clips	
Intermediate:		
Material	(1) 25-20Cr-Ni	25-20Cr-Ni/None
Spacing	2-Sets	1-set (1)
Guides:		
Location	None	
Material		



Header Boxes			
Location	<u>Convection Ends</u>	Material	<u>Carbon Steel</u>
Thickness	<u>1/2"</u>		
Insulation: Material	<u>1:2:4 L-H-V Castable</u>	Thickness	<u>1 1/2"</u>
Anchoring Material	<u>C.S.</u>		
Header Box Doors (Bolted or Hinged)	<u>Bolted</u>		
Burners			
Manufacturer	<u>John Zink or Equal</u>	Type	<u>MA-Q-16</u>
Number	<u>Four (4)</u>		
Location	<u>Floor</u>	Draft Inches H ₂ O	<u>0.16</u>
Size and Type of Pilots	<u>J-3/4 or Equal</u>		
Heat Release per Burner at Design Excess Air and Draft:			
Normal	<u>3.53</u>	MM BTU/Hr; Maximum	<u>4.41</u> MM BTU/Hr
Minimum Distance Burner Centerline to Tube Centerline:			
Horizontal	<u>3'-9"±</u>	Vertical	
Settings			
Exposed Vertical Walls:			
Thickness	<u>6"</u>	Hot Face Temperature: Design	<u>2300°F</u>
Calculated	<u>1625°F</u>		
Wall Construction	<u>2" 2300°F 6#/CF + 4" 1700°F 4#/CF Ceramic Fiber</u>		
Outside Casing: Thickness	<u>3/16"</u>	Material	<u>Carbon Steel</u>
Outside Temperature	<u>180°F</u>		
Tieback Material	<u>Inconel 601 Studs & Washers</u>		
Method of Fastening Tiebacks to Structure	<u>Welded</u>		
Shielded Vertical Walls: & Hip			
Thickness	<u>4"</u>	Hot Face Temperature: Design	<u>2300°F</u>
Calculated	<u>1200°F</u>		
Wall Construction	<u>2" 2300°F 6#/CF + 2" 1700°F 4#/CF Ceramic Fiber</u>		
Outside Casing: Thickness	<u>3/16"</u>	Material	<u>Carbon Steel</u>
Outside Temperature	<u>180°F</u>		
Tieback Material	<u>Typ. 304 S.S. Studs & Washers</u>		
Method of Fastening Tiebacks to Structure	<u>Welded</u>		
Arch: NONE			
Thickness		Hot Face Temperature: Design	
Calculated			<u>1200°F</u>
Arch Construction			
Outside Casing: Thickness		Material	<u>Carbon Steel</u>
Outside Temperature			
Tieback Material			
Method of Fastening Tiebacks to Structure			
Floor:			
Thickness	<u>7"</u>	Hot Face Temperature: Design	<u>2000°F</u>
Calculated	<u>1625°F</u>		
Floor Construction	<u>3" 1:2:4 L-H-V Castable + 4" Castable Block Mix</u>		
Minimum Floor Elevation	<u>8'-0"</u>		
Outside Casing: Thickness	<u>1/2"</u>	Material	<u>Carbon Steel</u>
Outside Temperature	<u>180°F</u>		
Convection Section:			
Thickness:	<u>5"</u>	Design Hot Face Temperature	<u>2000°F</u>
Construction	<u>3" 1:2:4 L-H-V Castable + 2" Castable Block Mix</u>		
Outside Casing: Thickness	<u>3/16"</u>	Material	<u>Carbon Steel</u>
Outside Temperature	<u>180°F AVG</u>		

 BOGOTA - COLOMBIA		CUSTOMER <u>ECOPETROL</u> IDP <u>5989</u> LOCATION <u>ORITO</u> PLANT _____	
DATA SHEET SOLENOID VALVES		DRAWING No <u>5989-0407-0002</u>	
GENERAL		2	
TAG No.	SV-105A & 405A	SV-105B & 405B	SV-105C & 405C
MANUFACTURER	MAXON	ITT GEN CONT	MAXON
MODEL	21-FL-30-3C ATC/50	21-FL-30-3C ATC/50	21-FL-30-3C ATC/50
TYPE	SHUT-OFF	SHUT OFF	RECYCLE
QUANTITY	FOUR (4)	FOUR (4)	FOUR (4)
SERVICE	OIL	ATM. STEAM	OIL
SERVICE CONDITIONS			
LINE SIZE	2" A106B-S80	1 1/2" A106B-S80	2" A106B-S80
FLUID / SG GRAVITY	OIL 17.8 API	STEAM	OIL 17.8 API
FLOW	235 lb/HR	25 lb/HR	235 lb/HR
FLUID TEMPERATURE	625°F	350°F	625°F
FLUID PRESSURE	60 PSIG	123 PSIG	60 PSIG
VALVE			
TYPE	TWO WAY	TWO WAY	TWO WAY
BODY SIZE/MATERIAL	2" C.S.	1 1/2" BRASS	2" C.S.
CONN. TYPE	FLANGED	NPT SCREWED	FLANGED
PORT SIZE			
MAX SHUT-OFF PRESS.	80 PSI	140 PSIG	80 PSI
RESET MANUAL AUTO		AUTO	AUTO
OPERATOR			
VALVE NORMALLY	①	CLOSED	OPEN
LIMIT SWITCH			
WHEN ENERGIZED VALVE	①	OPEN	CLOSED
MAX ALLOWABLE PRESS. DROP			
SOLENOID			
TYPE CLASS OR STYLE			
POWER SUPPLY	120V, 60HZ	120V, 60HZ	120, 60HZ
ENCLOSURE	NEHA 7	NEHA 7	NEHA 7
ELECTRICAL CONNECTION			
OPTIONS			
NOTES: ① WHEN ACTUATOR IN DE-ENERGIZED POSITION THE N.C. PORT CLOSED TO COMMON & N.O. PORT OPEN TO COMMON. WHEN ACTUATOR IS ENERGIZED FUNCTION TO CHANGE			
② SV-105/205/305/405 TO BE SELECTED BY VENDOR ACCORDING TO DATA FURNISHED.			
2 AS PURCHASED	19No. 28 GRF	11	5
1 WHERE SHOWN	12No. 28 GRF	1	4

dist ral		BOGOTA - COLOMBIA		CUSTOMER <u>ECOPETROL</u>		IDP <u>5923</u>	
				LOCATION _____		PLANT _____	
DATA SHEET SOLENOID VALVES				DRAWING No <u>5989-0907-0001</u>			REV <u>1</u>
GENERAL							
1	TAG No	SW 102/3-702/3	-302/3-AD2/3	SW 102/301/304/404	SW 102/301/301/401		
2	MANUFACTURER	ITT GEN. CONT		ITT GEN. CONT		ITT GEN. CONT	
3	MODEL	S251SA02N2EG5		S252SA02N2EG5		S211A02T2EG5	
4	TYPE	SHUT-OFF		VENT		SHUT-OFF	
5	QUANTITY	EIGHT (8)		FOUR (4)		FOUR (4)	
6	SERVICE	PILOT GAS		PILOT GAS		SCAVENGE	
SERVICE CONDITIONS							
7	LINE SIZE	3/4" ALU6" B-S80		3/4" ALU6" B-S80		3/4" ND6" B-S80	
8	FLUID / SP GRAVITY	NAT. GAS 0.6		NAT. GAS 0.6		STEAM	
9	FLOW	2650 CFH		2650 CFH		3046 HR	
10	FLUID TEMPERATURE	70°F		70°F		250°F	
11	FLUID PRESSURE	3.7 PSIG		3.7 PSIG		125 PSIG	
VALVE							
12	TYPE	TWO-WAY		TWO-WAY		TWO-WAY	
13	BODY SIZE / MATERIAL	3/4" ALUMIN.		3/4" ALUMIN.		3/4" BRASS	
14	CONN. TYPE	NPT SCREWED		NPT SCREWED		NPT SCREWED	
15	PORT SIZE						
16	MAX SHUT-OFF PRESS.					140 PSIG	
17	RESET	MANUAL	AUTO	AUTO	AUTO	AUTO	AUTO
18	OPERATOR						
19	VALVE NORMALLY	CLOSED		OPEN		CLOSED	
20	LIME SWITCH						
21	WHEN ENERGIZED VALVE	OPEN		CLOSED		OPEN	
22	MAX. ALLOWABLE PRESS. DROP						
SOLENOID							
23	TYPE	CLASS OR STYLE					
24	POWER SUPPLY	120V, 60HZ		120V, 60HZ		120V, 60HZ	
25	ENCLOSURE	NEHA 7		NEHA 7		NEHA 7	
26	ELECTRICAL CONNECTION						
OPTIONS							
NOTES:							
27	WHERE SHOWN	13AL28	GRF	4	5		

distral

BOGOTA-COLOMBIA

CUSTOMER ECOPETROL IDP 5989

LOCATION PURUMBAYO PLANT REFINERIA ORITO

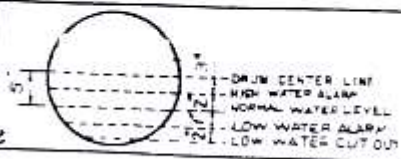
DATA SHEET FOR WATER COLUMNS & ACCESSORIES

DRAWING No. 5989-02-17-0001

REV

GENERAL

TAG No.	WC-01
DESIGN PRESSURE	250 PSIG
DESIGN TEMPERATURE	670. °F
WORKING PRESSURE	120 PSIG
MANUFACTURER	KLOCK-RELIANCE
VOLT/PH/CT	120/1/1H/6CH2



WATER COLUMN

MODEL	156-EA17			
STEAM AND WATER CONNECTION	TYPE	SIZE	CENTERS	16"
BASE GLASS CONNECTION	TYPE	SIZE	CENTERS	18"
DRAIN CONNECTION	TYPE	SIZE		
ARRANGEMENT				
TRY COCKS	TYPE	SIZE		
QUANTITY	ONE		QTY	3

BASE GLASS

SERVICE	FOR WATER COL	DIRECT TO DRUM	REMOTE EYE HYE
MODEL	C7		
TYPE	PRISMATIC INSERT		
VISIBILITY	10 1/8"	NO	NO
QUANTITY	ONE		

VALVES

SERVICE	FOR BASE GLASS	TRY COCKS	
MODEL	402 RS	311	
MATERIAL	BRONZE		
SIZE			
QUANTITY	1 SET	3	

ACCESSORIES

ELECTRODES	YES (EA-17)
ILLUMINATOR No. OF WINDOWS	YES (WEATHER PROOF)
HOOD	YES
MIRRORS	NO
CHAIN AND HANDLES	FOR VALVES 402 RS AND 311
ELECTRO EYE HYE	ELECTROLEV <input type="checkbox"/> CONTROL UNIT <input type="checkbox"/> ELECTRA IND <input type="checkbox"/>
1 1/2" SOCKET	
SPARES	

NOTES

42

43

44 IF WE NEED CERTIFIED DRAWINGS

45

46

47

48

49

50

51

52

53

54			
55			
56			
57	0 P&O COMP	23-11-87 GAL	
58	REV	DESCRIPTION	DATE

distral BOGOTA - COLOMBIA		CUSTOMER <u>ECOPETROL</u> IDP <u>1989</u>	
DATA SHEET FOR SAFETY & RELIEF VALVES		LOCATION <u>PURUMAYO</u> PLANT <u>REF DEL RIE</u>	
		DRAWING No. <u>1989-02-20-0001</u>	
		REV <u>2</u>	
GENERAL			
2	TAG No	<u>SV-01</u>	
3	DISCHARGED FLUID	<u>SATURATED STEAM</u>	
4	DISCHARGED TO -	<u>ATMOSPHERE</u>	
5	SET PRESSURE	<u>270 PSIG</u>	
6	BACK PRESSURE	<u>187 PSIG</u>	
CALCULATION DATA			
9	BOILER AREA		
10	CODE FACTOR	<u>NO</u>	
11	ACCUMULATION % <u>3%</u>		
12	TEMP NORMAL RELIEVING °C <input type="checkbox"/> °F <input checked="" type="checkbox"/>	<u>408. °F</u>	
13	VISCOSITY AT OP. CONDIT. (LIQ)		
FEATURES			
16	CALCULATED AREA sq. in. <input type="checkbox"/>		
17	SELECTED AREA sq. in. <input checked="" type="checkbox"/>	<u>0.307</u>	
18	No OF VALVES	<u>ONE</u>	
19	ORIFICE DESIGNATION	<u>F</u>	
20	DESIGN TEMPERATURE °F <input type="checkbox"/>		
21	SIZE FLANGES INLET / OUTLET	<u>1 1/2" FL 1 1/2" FL</u>	
22	RATING FACING FLANGES INLET / OUTLET	<u>300# 150.#</u>	
23	CAPACITY LB/Hr	<u>3773</u>	
MATERIALS			
25	BODY		
26	NOZZLE & SEAT		
27	DISK		
28	GUIDE & RING		
29	SPRING		
30	STEM		
31	BELLOW		
ACCESSORIES			
34	OPEN OR CLOSED BONNET		
35	LEVER PLAIN OR PACKED		
36	TEST GAG		
37	PNEUMATIC OPERATOR		
38			
39	MANUFACTURER'S MODEL	<u>CONSOLIDATED</u>	
40	MANUFACTURER	<u>1811 F</u>	
41	NOTES		
42	<u>WE NEED CERTIFIED DRAWING</u>		
43			
44			
1	TEMP. REG 300°F	4/10/87	GH
1	COMPRO DE MODELO	4/10/87	GH
0	FORO COMPRO	15-X-87	GH
REV	DESCRIPTION	DATE	BY
			APPR
			REV
			DATE
			BY
			APPR