



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la  
Producción**

“Proyecto Reparación Mayor en Caldero de la Central  
Termoeléctrica Trinitaria-Celec Ep”

**TESIS DE GRADO**

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO MECÁNICO**

Presentada por:

Gustavo Gabriel Echeverría Figueroa

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2013

## **AGRADECIMIENTO**

Mi gratitud a Dios por permitirme culminar mis estudios.

A todos mis amigos y conocidos que de uno u otro modo compartieron y colaboraron en la realización de este trabajo y especialmente al Ing. Ernesto Martínez L. Director de Tesis, por su invaluable paciencia y apoyo durante el desarrollo de este proyecto.

## DEDICATORIA

Dedico este esfuerzo a Dios,  
a mi adorada mamá, a mis  
hermanas que siempre me  
han ayudado a crecer y  
sobrevivir.

A mis sobrinos a quienes  
dejaré como legado mi  
ejemplo.

A Anell que me impulsa con  
su amor incondicional.

Gustavo Echeverría Figueroa.

# TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

---

Dr. Kleber Barcia V., Ph. D.  
DECANO DE LA FIMCP  
PRESIDENTE

---

Ing. Ernesto Martínez L.  
DIRECTOR

---

Ing. Julián Peña E.  
VOCAL

## **DECLARACIÓN EXPRESA**

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

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).

---

Gustavo Gabriel Echeverría Figueroa

## RESUMEN

En la actualidad la directriz en el sector energético del país, apunta hacia el desarrollo sustentable de los diversos tipos de generación eléctrica, los cuales se van mejorando de manera paulatina.

Se conoce de la ejecución de varios proyectos hidroeléctricos, eólicos, solares y otras energía renovables para evitar el consumo de combustibles fósiles los cuales contribuyen a la contaminación del medio ambiente, pero en el país también se cuenta con el tipo de generación termoeléctrica el cual se ha ido desarrollando durante varios años en el pasado.

CELEC EP (Corporación Eléctrica del Ecuador), ha considerado la re potenciación y mejoras en estas generadoras, ya que representan el 4.93% de energía generada en el país.

En la C.T.Trinitaria perteneciente a ELECTROGUAYAS constan de un ciclo ranking generativo, es decir una caldera y una turbina a vapor que generan 133 MW/hora, durante los últimos años en esta unidad generadora han ocurrido varias interrupciones en su proceso de generación, se realizó un análisis de los posibles motivos por los cuales se producen estas continuas paradas, arrojando como resultado un total deterioro en el sobrecalentador

secundario de la unidad generadora de vapor, se gestionó el cambio de este elemento del caldero pero con algunas mejoras en su diseño.

Este proyecto de tesis relata mediante una secuencia de capítulos la metodología aplicada para el desarrollo del mismo, desde su planificación hasta su ejecución.

Finalmente se realiza un análisis de costos el mismo que señala como valor total del proyecto un valor de \$ 1.422.948,12 dólares americanos, que comparados con el costo de una parada en su generación de mínimo 48 horas, representa una pérdida significativa no solo en el ámbito económico sino también en el energético.

## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	IV
ABREVIATURAS.....	VIII
SIMBOLOGÍA.....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
ÍNDICE DE TABLAS.....	XII
ÍNDICE DE PLANOS.....	XIII
INTRODUCCIÓN.....	1

### CAPÍTULO 1

#### 1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA CENTRAL TERMOELÉCTRICA

TRINITARIA.....	4
1.1 Generación de Energía Eléctrica.....	5
1.2 Central Térmica Trinitaria.....	7
1.3 Política, Misión, Objetivos y Valores.....	11

### CAPÍTULO 2

#### 2. TIPOS DE FALLAS EN GENERADOR DE VAPOR.....

2.1 Generador de Vapor Instalado.....	15
2.2 Mecanismos de Falla.....	21



2.2.1 Mecanismos de Falla Debido a Ruptura Bajo Esfuerzo.....	22
2.2.2 Mecanismo de Falla por Corrosión Lado de Agua.....	23
2.2.3 Mecanismos de Falla por Corrosión Lado Fuego.....	31
2.2.4 Mecanismos de Falla por Erosión.....	38
2.2.5 Mecanismos de Falla por Fatiga.....	40
2.2.6 Mecanismos de Falla por Control de Calidad.....	48

### **CAPÍTULO 3**

3. ANÁLISIS DEL PROBLEMA.....	59
3.1 Planteamiento del Problema.....	59
3.2 Diagrama Causa-Efecto.....	60
3.3 Análisis del Diagrama Causa-Efecto.....	60
3.4 Antecedentes y Descripción de la Problemática.....	62
3.5 Programación a Mantenimiento.....	65
3.6 Posibles Soluciones de la Problemática.....	67

### **CAPÍTULO 4**

4. PROCESOS REQUERIDOS PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO.....	69
4.1 Proceso de Aplicación de Soldadura.....	69
4.2 Soldadura por Arco Metálico Protegido (SMAW).....	71
4.3 Soldadura por Arco con Electrodo de Tungsteno Protegido por	

Gas (GTAW).....	71
4.4 Restricciones del Proceso de Soldadura.....	72
4.5 Temperatura de Pre calentamiento Entre Pasos.....	74
4.6 Reparación de Defectos.....	75
4.7 Preparación del Metal Base.....	75
4.8 Pruebas no Destructivas.....	76
4.8.1 Inspección Visual de la Soldadura.....	76
4.8.2 Gammagrafía.....	77
4.9 Tratamiento Térmico.....	78
4.10 Clasificación de los Electrodo (AMERICAN WELDING SOCIETY).....	79
4.11 Clasificación Posición de Soldadura (ASME).....	81
4.12 Tipo de Empalmes Empleados en el Generador de Vapor.....	82
4.13 Principio de Corte Oxiacetilénico.....	84
4.14 Materiales Aleados Empleados en el Generador de Vapor.....	88

## **CAPÍTULO 5**

5. DESARROLLO DEL PROYECTO.....	87
5.1 Cronograma de Actividades.....	87
5.2 Selección del Material.....	87
5.3 Determinación de los Elementos a Cambio.....	89
5.4 Preparación de los Tubos.....	91

5.5	Salida a Mantenimiento de la Unidad.....	93
5.5.1	Marcado de Elementos y Maniobra de Apertura de Caldero.....	95
5.5.2	Desmontaje de Sobrecalentador Secundario.....	97
5.5.3	Montaje de Sobrecalentador Secundario.....	106
5.5.4	Unión de Elementos por Soldadura Proceso GTAW.....	112
5.5.5	Gammagrafía y Reparación de Irregularidades.....	121
5.5.6	Tratamiento Térmico a la Soldadura. ....	122
5.5.7	Colocación de Peines y Placas Candado.....	128

## **CAPÍTULO 6**

6.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	131
6.1	Análisis del Cronograma Programado vs Real.....	132
6.2	Estimación de Costos.....	133

## **CAPÍTULO 7**

7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	137
----	-------------------------------------	-----

## **APÉNDICES**

## **BIBLIOGRAFÍA**

## ABREVIATURAS

CELEC	Corporación Eléctrica del Ecuador
EP	Empresa Pública
INECEL	Instituto Ecuatoriano de Electrificación
S.A.	Sociedad Anónima
CONELC	Consejo Nacional de Electricidad
V.T.F	Ventiladores de Tiro Forzado
C.A.R	Calentador de Aire Regenerativo
SOB.	Sobrecalentador
AP.	Alta Presión
MP.	Media Presión
BP.	Baja Presión
REC.	Recalentador
H <sub>2</sub> O	Agua
DG.	Desgasificador
ASTM	American Society for Testing and Materials
ASME	American Society of Mechanical Engineers
PH	Potencial de Hidrógeno
SCC	Stress Corrosion Cracking
C.T.	Central Térmica
AISI	American Iron And Steel Institute
SMAW	Shield Metal Arc Welding
GTAW	Gas Tungsten Arc Welding
WPS	Welding Procedure Specification
WPQ	Welding Procedure Qualification
AWS	American Welding Society
API	American Petroleum Institute
HIC	Hydrogen Induced Cracking
MIG	Metal Inert Gas
MAG	Metal Active Gas
TIG	Tungsten Inert Gas
PWHT	Post Weld Heat Treatment

## SIMBOLOGÍA

V	Voltio
Kg	Kilogramo
Cm <sup>2</sup>	Centímetro Cuadrado
°C	Grados Celsius
Mm	Milímetro
Kpa	Kilopascal
Abs	Absoluta
M <sup>2</sup>	Metro Cuadrado
Kcal	Kilocaloría
Ppm	Partes Por Millón
Pa	Pascal
T/H	Toneladas Por Hora
T	Temperatura
P	Presión
°	Grados
Cr	Cromo
Mo	Molibdeno
E	Electrodo
Ni	Níquel
Fe	Hierro
Pulg.	Pulgada
Hrs	Horas
Mw	Megawatts
Mw-Hr	Megawatts Por Hora

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1	Central Térmica Trinitaria..... 7
Figura 1.2	Diagrama de Procesos en la C.T.Trinitaria..... 11
Figura 2.1	Placa Descriptiva del Caldero Babcock&Wilcox Española.....15
Figura 2.2.	Tabla de Datos Técnicos del Caldero..... 16
Figura 2.3	Datos de Salida del Caldero..... 17
Figura 2.4	Tabla del Combustible Requerido por el Caldero..... 18
Figura 2.5	Diagrama Mecanismos de Falla..... 21
Figura 2.6	Falla por Corrosión del Lado Agua..... 24
Figura 2.7	Falla por Corrosión Caustica..... 25
Figura 2.8	Falla Ataque por Hidrógeno..... 26
Figura 2.9	Mecanismo Falla por Picadura.....28
Figura 2.10	Mecanismo de Falla Corrosión Bajo Esfuerzo..... 30
Figura 2.11	Mecanismo Falla por Corrosión..... 32
Figura 2.12	Mecanismo Falla Corrosión..... 33
Figura 2.12	Mecanismo Falla Corrosión.....35
Figura 2.13	Mecanismo Falla Fatiga por Vibración..... 41
Figura 2.14	Mecanismo de Falla por Fatiga Térmica..... 43
Figura 2.14	Mecanismo de Falla por Fatiga Térmica..... 45
Figura 2.16	Mecanismo Falla por Control de Calidad..... 48
Figura 3.1	Fallas Encontradas en el Sobrecalentador..... 64
Figura 3.2	Análisis sobre la Composición de Fuel Oil # 6 Utilizado en los Quemadores.....66
Figura 5.1.	Cuadro de Fallas Ocurridas en los Tubos del Caldero en la C.T.Trinitaria..... 90
Figura 5.2.	Corte en Estructura de Embalaje de Sobrecalentador..... 92
Figura 5.3	Seccion de Sobrecalentador Secundario..... 92
Figura 5.4	Demolición y Reparación de Refractario en Manhole de Ingreso al Caldero..... 94
Figura 5.5	Separación y Marcado de Secciones Antes del Montaje..... 97
Figura 5.6	Salida de Conexión Sobrecalentador-Colector en Cámara Muerta.....99
Figura 5.7	Placas y Peines Retirados de la Cámara..... 99
Figura 5.8	Corte de Tubería Con Proceso Oxiacetilénico..... 101
Figura 5.9	Colocación de Fajas y Cuerdas de Seguridad..... 102
Figura 5.10	Desmontaje de Secciones de Sobrecalentador..... 103

Figura 5.11	Biselado de Tubería.....	106
Figura 5.12	Plano Descriptivo de Ubicación de Secciones del Sobrecalentador.....	108
Figura 5.13	Secuencia del Montaje de Secciones de Sobrecalentador...	110
Figura 5.14.	Ruta de Acceso de Secciones de Sobrecalentador.....	111
Figura 5.15.	Proceso Calificación de Soldadores.....	112
Figura 5.16	Juntas Entre Secciones de Sobrecalentador y Colector.....	113
Figura 5.17	Colocación Puntos de Soldadura.....	115
Figura 5.18.	Precalentamiento de Elementos.....	116
Figura 5.19.	Aplicación Paso de Raíz En Soldadura.....	118
Figura 5.20.	Inspección de Juntas Soldadas.....	119
Figura 5.21.	Codificación Juntas de Soldadura.....	119
Figura 5.22	Primera Fase de Calentamiento No Controlado.....	125
Figura 5.23	Fase de Mantenimiento de la Temperatura A 730 °C.....	126
Figura 5.24	Primera Fase de Enfriamiento Controlado.....	126

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Tipo de Recubrimiento, Corriente y Polaridad de los Electrodo...80	
Tabla 2 Análisis de Costos..... 133	



## ÍNDICE DE PLANOS

(Ver en Apéndices)

## INTRODUCCIÓN

El presente reporte se realizó en la Central Termoeléctrica Trinitaria perteneciente a la Corporación Eléctrica del Ecuador (CELEC EP), esta central se encuentra interconectada al Sistema Eléctrico Nacional al cual contribuye con 133 MW-hr de generación, los cuales son distribuidos en un gran porcentaje a la zona de mayor demanda de energía eléctrica nacional o sea el Guayaquil-Quito, la central se encuentra ubicada en el sur de la ciudad de Guayaquil cerca del Puerto.

Este proyecto está constituido como parte del mantenimiento mayor realizado a la unidad de ciclo convencional de la central. Se enfoca a las actividades que se realizaron en el generador de vapor en un periodo de 63 días naturales en el periodo del diciembre-febrero del año 2012.

Durante los periodos anteriores se presentaron de forma recurrente fallas en los elementos internos del generador de vapor lo que constituía una salida de la unidad para inspección, evaluación y reparación de los internos del generador de vapor, lo que impacta de forma directa a las metas anuales comprometidas con el personal de dirección. Existen fallas en los equipos auxiliares que si bien impactan en los resultados, no es necesario dejar fuera de línea la unidad para su corrección, a diferencia de los equipos principales

como lo son el generador de vapor, el generador eléctrico o la turbina de vapor; la situación se agrava cuando la salida fuera de línea de la unidad durante los periodos anteriores se debe exclusivamente a fallas que se presentaron en los elementos del sobrecalentador secundario del generador de vapor. Con el fin de eliminar estas irregularidades se buscaron alternativas de solución las cuales atenuaron la problemática pero no se corrigió de forma definitiva. Esta tesis se basa en una alternativa de solución la cual se concretó, después de plantear la problemática con el fabricante y especialistas en procesos de inspección, evaluación y pruebas como lo son BABCOCK & WILCOX ESPAÑOLA y ENTALPIA S.A. Con el apoyo de estas compañías y en base a la experiencia del personal obtenida a lo largo de realizar las diversas actividades de mantenimiento en el generador de vapor, se logra el reemplazo el sobrecalentador secundario, aprovechando el período de mantenimiento anual, además del mantenimiento a la turbina de vapor, aun así se logra marcar un parámetro de control con respecto a los resultados que se espera lograr con el cambio de los elementos. Resultados que benefician de forma directa al sector de generación, así como indicadores de control planteados sobre el desempeño de la Central Termoeléctrica.

La estructura de esta tesis se basa en capítulos de los cuales el primeros son la introducción al proceso de generación y estructura de CELEC EP, así

como la descripción de la estructura de la central termoeléctrica “Trinitaria”. El área en donde se desarrolló el proyecto, sus funciones y descripción de actividades, así como las responsabilidades y funciones desarrolladas. El capítulo 2 se desarrolla como una introducción breve de las fallas que se presentan en los internos del generador de vapor, en el capítulo 3 se analiza la problemática existente y como poder resolverla, en el capítulo 4 los procesos aplicados al cambio de elementos del generador de vapor como lo son el proceso de soldadura, armado, corte de metales por oxi-corte y por arco aire. En el capítulo 5 se plantea la metodología seguida para realizar el cambio de los elementos tal cual se llevó a cabo apoyándose con la teoría que se comentó en el capítulo anterior.

En el último capítulo se presentan los resultados que se obtuvieron al final del proyecto comparando el número de fallas que se presentaban en periodos anteriores y el número de fallas que se han presentado al actual periodo, se presenta un estado de costos únicamente como referencia, ya que la cantidad que deja de ingresar por venta de energía eléctrica es bastante elevado en comparación con los costos de inversión asignados al proyecto.

Como parte final se presentan las conclusiones del proyecto, así como recomendaciones para realizar el presente proyecto.

# CAPÍTULO 1

## 1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA CENTRAL TERMOELÉCTRICA TRINITARIA

El desarrollo económico de un país está fuertemente vinculado a su patrón de consumo energético. Así en el país el desarrollo económico y social se debe en buena medida a los avances obtenidos por dos de sus principales industrias: El petróleo y la electricidad, la segunda aumento significativamente su producción a partir de el desarrollo de otras formas de generación y no solo la hidroeléctrica.

La Corporación Eléctrica del Ecuador (CELEC EP) está a cargo de las actividades relacionadas con la generación de energía eléctrica, mantener la continuidad de servicio, el suministro de energía eléctrica con seguridad, eficiencia creciente, calidad y bajo costo, son solo algunas de las funciones que lleva a cabo CELEC EP.

Para llevar a cabo estas funciones es que CELEC EP cuenta con una extensa plantilla de trabajadores especializados: técnicos y profesionales en las áreas más diversas; electricidad, finanzas, sistemas, comunicación, administración, etc., conformando un equipo humano que cubre todo el país.

### **1.1 Generación de Energía Eléctrica.**

La generación de energía eléctrica se realiza en centrales cuya denominación está ligada al energético primario utilizado, como lo son: las centrales hidroeléctricas, que aprovechan la energía potencial del agua; Las centrales termoeléctricas, operan a partir de combustible líquido o gas; Las centrales de combustión interna con bunker o diesel; Las centrales de ciclo combinado, que operan con bunker, diesel o gas. Con excepción de las centrales hidroeléctricas y las de combustión interna, el resto utiliza básicamente la transferencia de energía calorífica en energía cinética, la que a su vez se transforma en trabajo mecánico al paso de la turbina, produciendo el movimiento necesario para que ese trabajo sea aprovechado por el generador eléctrico acoplado a la turbina y, por lo tanto, la etapa final de transformación de energía mecánica en energía eléctrica.

### **Centrales Termoeléctricas convencionales.**

Este tipo de centrales utiliza como fuente de energía primaria combustibles (fuel oil, bunker, crudo o diesel) o gas natural. En la actualidad, el sector eléctrico utiliza bunker ya que es uno de los derivados del petróleo que tiene un buen poder calorífico y bajo costo.

La caldera o generador de vapor transforma el poder calorífico del combustible en energía térmica, la cual es aprovechada para llevar el agua a la fase de vapor. Este vapor ya sobrecalentado, se conduce a la turbina, donde su energía cinética se convierte en mecánica, que se transmite al generador para producir energía eléctrica.

Estas centrales requieren cantidades importantes de agua. El sistema de enfriamiento es por medio de un condensador el cual utiliza agua no tratada del estero para enfriar el vapor, convertirlo en condensado, almacenarlo en un tanque y reutilizar en el sistema de generación, además de las purgas.

En Ecuador se tiene en operación unidades de diversas capacidades, por ejemplo: Termoesmeraldas 132 MW, Trinitaria 133 MW, Gonzalo Cevallos 146 MW.

## 1.2 Central Térmica Trinitaria.



**FIGURA 1.1 CENTRAL TÉRMICA TRINITARIA.**

### ***Reseña Histórica.***

El 10 de Julio de 1998 fue la entrega recepción provisional de la Central Térmica Trinitaria al INECEL (INSTITUTO ECUATORIANO DE ELECTRIFICACIÓN) por parte de la empresa contratista



BABCOCK & WILCOX ESPAÑOLA .Como parte del proyecto de reestructuración del sector eléctrico, incluyendo la terminación de la vida jurídica del Instituto Ecuatoriano de Electrificación – INECEL, se creó la empresa Electroguayas S.A., la cual se constituyó el 13 de Enero de 1999 según Escritura Pública otorgada ante el Notario Vigésimo Octavo del Cantón Quito e inscrita en el Registro Mercantil del Cantón Guayaquil el día 29 de Enero de 1999, y cuyo único accionista era el Fondo de Solidaridad.

Electroguayas S.A. obtuvo el contrato de concesión, otorgado por el CONELEC, para la generación de energía eléctrica a nivel nacional, con tres centrales de generación: Trinitaria, Gonzalo Zevallos y Enrique García.

Debido a los cambios en la política de manejo del sector eléctrico, bajo las directrices de la Presidencia de la República, en febrero de 2009 ELECTROGUAYAS S.A, al igual que las otras empresas generadoras y el transmisor del ex Fondo de Solidaridad, se integraron en una sola empresa anónima, CELEC S.A. para mejorar las condiciones administrativas y de operación de las unidades de generación de propiedad del estado ecuatoriano.

En la Central Térmica Trinitaria se tiene un generador de vapor o caldera que consta de 8 ignitores y 8 quemadores.

Inicialmente en su arranque los ignitores son alimentados con diesel y aire a alta presión, luego encendidos con un electrodo que tiene un voltaje bien elevado (2000 V aproximadamente) el cual produce una chispa y la combinación de ambos genera una llama.

Una vez encendidos los ignitores se procede a encender los quemadores que son alimentados con fuel oil # 6 y vapor.

Previamente se necesita aire extraído de la atmósfera (28 grados Celsius) para que ayude con el proceso de combustión, este aire es proporcionado por los ventiladores de tiro forzado (**V.T.F**) que antes de ingresar a la caldera pasa a través del calentador de aire regenerativo (**C.A.R**) para elevar su temperatura (160 grados Celsius).

Por otro lado a través del domo o calderin se ingresa agua previamente tratada químicamente, a alta presión y con temperatura cercana a la de saturación para que alimente a la caldera donde se quema combustible.

El agua de alimentación pasa a través de un sobrecalentador **SOB.** y se obtiene un vapor sobrecalentado a una temperatura de 535

grados Celsius y una presión de 145 Kg/cm<sup>2</sup>. El vapor Sobrecalentado ingresa a la turbina de alta presión **A.P** se expande y realiza un trabajo, perdiendo temperatura y presión por lo que antes de entrar a la turbina de media presión **M.P** y baja presión **B.P** pasa por el recalentador **REC.** recuperando temperatura y presión.

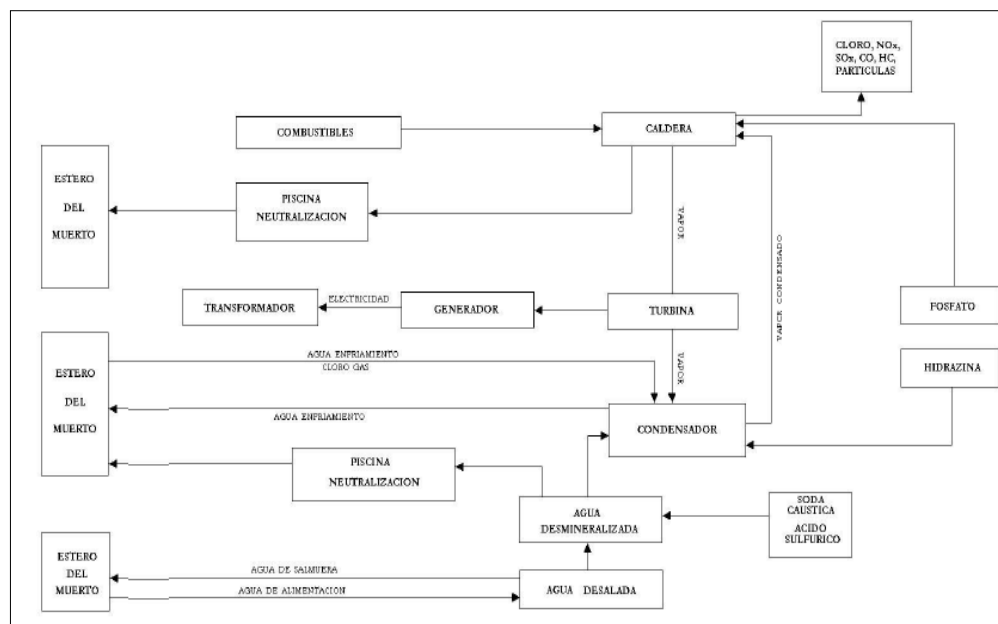
Luego de que el vapor sale de la turbina de baja presión entra al condensador principal donde se condensa al ponerse en contacto con las paredes frías de los tubos en cuyo interior pasa agua salada (26 C) que es impulsada por las Bombas de Agua de Circulación, intercambio de calor hace que el agua salada salga del condensador con temperatura mayor producto del y cede el calor al agua.

El condensado (aproximadamente 350 mm H<sub>2</sub>O) es succionado con la ayuda de las bombas de extracción de condensado y lo conduce por los precalentadores de baja presión incrementando su temperatura.

Luego por el desgasificador **DG.** cuya función es eliminar los gases disueltos que contiene el condensado, el cual que puede ser nocivo para las tuberías de la caldera, luego la bomba de alimentación

extrae el agua y la hace pasar por los precalentadores de alta presión para finalmente regresarla a la caldera completando un ciclo cerrado.

Para una mejor apreciación del ciclo agua vapor en una central Termoeléctrica ver figura 1.2



**FIGURA 1.2 DIAGRAMA DE PROCESOS EN LA C.T. TRINITARIA**

### 1.3 Política, Misión, Visión, Objetivos y Valores.

#### Política

Satisfacer las necesidades de Energía Eléctrica de la sociedad mejorando la competitividad asegurando la eficacia de los procesos

de la dirección de operación, sustentados en la autonomía de gestión de sus áreas.

#### Visión

Ser la empresa pública líder que garantiza la soberanía eléctrica e impulsa el desarrollo del Ecuador.

#### Misión

Se contribuye al buen vivir, produciendo energía eléctrica con alta disponibilidad y confiabilidad, propendiendo al mínimo costo, con altos estándares de calidad del servicio, minimizando el impacto ambiental y desarrollando una gestión empresarial efectiva con el aporte de su talento humano.

#### Objetivo

Electroguayas S.A., quiere ser la empresa pública líder que garantiza la soberanía eléctrica e impulsa el desarrollo del Ecuador. Quienes trabajan en Electroguayas S.A., generan bienestar y desarrollo nacional, asegurando la provisión de energía eléctrica con altos estándares de calidad y eficiencia, con el aporte de su talento humano comprometido y competente, actuando responsablemente con la comunidad y el ambiente.

Electroguayas S.A., se enfoca en los siguientes aspectos:

- Garantizar un abastecimiento eléctrico.
- Maximizar la disponibilidad y confiabilidad del sistema eléctrico.
- Incrementar la oferta del servicio eléctrico.
- Asegurar la sustentabilidad financiera y buscar ampliar fuentes de financiamiento.
- Desarrollar el talento humano
- Consolidar la gestión organizacional y modernizar la plataforma tecnológica.

#### Valores

- Disciplina
- Compromiso
- Trabajo en equipo
- Integridad
- Lealtad
- Innovación
- Responsabilidad social

# CAPÍTULO 2

## 2. TIPOS DE FALLAS EN GENERADOR DE VAPOR

Las fallas en tubos de caldera son la causa principal de las salidas forzadas de un generador de vapor. Aproximadamente el 40% de las fallas del generador de vapor se presentan en las paredes.

En los elementos del sobrecalentador se presentan alrededor el 30%, en los tubos del recalentador el 15%, en el economizador el 10% y el 5% restante en las demás partes.

El medio ambiente del interior del generador de vapor durante su operación es en gran medida la razón de estas fallas, se puede señalar que los esfuerzos por efectos, temperatura corrosión-erosión y vibración, se combinan para la degradación del tubo de acero.

Los errores humanos también son un factor importante en las fallas de los tubos de caldera.

Estos errores se pueden presentar durante el diseño, fabricación y embarque, almacenamiento, construcción, operación y mantenimiento de la tubería del Generador de vapor.

## 2.1 Generador de vapor Instalado.

BABCOCK & WILCOX ESPAÑOLA	
FABRICADO POR	BABCOCK & WILCOX ESPAÑOLA
FABRICADO PARA	INECEL CONTRATO 931-0318-941
Nº SERIE FABRICANTE	931-318-941 AÑO 1.995
CODIGO DE DISEÑO	ASME SECCION I
GENERADOR DE VAPOR TIPO EL PASO	
PRODUCCION VAPOR SOBRECALENTADO	409.000 KG./H.
MAXIMA PRESION VAPOR SOBRECALENTADO	149,9 KG./CM <sup>2</sup> e
TEMPERATURA VAPOR SOBRECALENTADO	541 °C
PRODUCCION VAPOR RECALENTADO	381.400 KG./H.
MAXIMA PRESION VAPOR RECALENTADO	38,0 KG./CM <sup>2</sup> e
TEMPERATURA VAPOR RECALENTADO	541 °C ± 5°C
SUPERFICIES DE CALEFACCION :	
CALDERA, SOBRECALENTADOR Y RECALENTADOR	5.801 M <sup>2</sup>
HOGAR	576 M <sup>2</sup>
ECONOMIZADOR	1.414 M <sup>2</sup>
FLUIDO	AGUA / VAPOR
COMBUSTIBLE	FUEL OIL
VOLUMEN AGUA NIVEL MEDIO	72.471 M <sup>3</sup>

**FIGURA 2.1 PLACA DESCRIPTIVA DEL CALDERO  
BABCOCK&WILCOX ESPAÑOLA.**

La empresa BABCOCK&WILCOX ESPAÑOLA S.A. fue la encargada en la fabricación del caldero, el cual tiene las siguientes características.



## DATOS TÉCNICOS.

C	TIPO RADIANTE			
	TAMAÑO RBE 24M95/14O60			
	PRESION DE DISEÑO 16700 Kpa ( abs)			
	HOGAR	AGUA (CIRCUNFERENCIAL)		
		AGUA (PROYECTADA)	576	
		SOBRECALENTADOR (CIRCUNFERENCIAL)		
		SOBRECALENTADOR (PROYECTADA)		
		TOTAL SUPERFICIE CALEFACCION HOGAR	576	
		CONVECCION	SATURADO (CIRCUNFERENCIAL)	
			SOBRECALENTADOR (CIRCUNFERENCIAL)	3751
			RECALENTADOR ( CIRCUNFERENCIAL)	1357
			PAREDES PASO CONVECCION ( PROYECTADA)	520
			ECONOMIZADOR ( CIRCUNFERENCIAL)	1414
	TOTAL SUPERFICIE CALEFACCION CONVECCION		7112	
	TOTAL SUPERFICIE CALEFACCION PARTES A PRESION		7688	
	SUPERFICIE CALEFACCION SOLERA HOGAR PROYECTADA			
	SUPERFICIE HASTA ENTRADA SOBRECALENTADOR RADIANTE			
	SUPERF. CALEF	SUPERFICIE HASTA ENTRADA SUPERFICIE DE CONVECCION	576	
	VOLUMEN HOGAR .....920			
	CALENTADOR	TIPO	REGENERATIVO CANTIDAD 1	
AIRE	SUPERFICIE CALEFACCION TOTAL m2 ..... 15222			
QUEMADOR OIL	TIPO	BW-CIRCULAR ATOMIZADORES DE VAPOR		
	CANTIDAD	8		
CONTROL TEMPERATURA DE VAPOR	TIPO	TAMAÑO No		
	CAPACIDAD DE PULV. ES T.VAPOR/HR BASADO EN MOLTURABILIDAD			
	Kcal/Kg CARBONa	% POR TAMIZ 200 USS		
	PARA T. CARBON/Ha	% POR TAMIZ 200 USS min molturabilidad		
	ES MAX. HUMEDAD SUPERFICIAL	% REQUIRIENDO		
	SOBRECALENTADOR	ATEMPERADOR		
	RECALENTADOR	RECIRCULACION GAS		
		ATEMPERADOR		
	CAR. CONSTRUCCION UNIDAD	INTEMPERIE		
		PRESURIZADO		
PARED MEMBRANA				
SOLIDOS EN VAPOR		1ppm.		
REV	0	REV. GENERAL	JJB 21 - 06.94	
	1	MODIFICACION CIRCUITO AIRE-GAS	JJB 14 - 10-94	
	2	REV.CALENTADOR AIRE REGENERATIVO	JJB 10 - 95	

FIGURA 2.2. TABLA DE DATOS TÉCNICOS DEL CALDERO.

B		FUNCIONAMIENTO PREVISTO				
CAUDAL VAPOR SOBRECALENTADO T/H		409.0	387	281.1	186.2	
CAUDAL VAPOR RECALENTADO T/H		361.4	351.3	257.5	172.4	
CAUDAL DE VAPOR SATURADO T/H		21.7	17.2	14.5	11.5	
TIPO DE COMBUSTIBLE		OIL	OIL	OIL	OIL	
CARGA		MCR	100%	75%	CONTROL	
EXCESO DE AIRE SALIDA ECO. %		10	10	12	21	
No QUEMADORES EN OPERACION		8	8	8	8	
APORTACION POR COMBUSTIBLE MW (S/PCS)		363.02	342.43	258.89	180.39	
CALOR DISPONIBLE EN EL HOGAR MW		379.80	357.73	270.49	188.95	
CAUDAL ( T/H)	COMBUSTIBLE	30.31	28.59	21.62	15.05	
	GASES ENTRADA CALENTADOR DE AIRE	503.61	475.06	365.25	273.48	
	AIRE AL HOGAR	457.53	431.59	329.35	244.23	
	FUGAS EN CALENTADOR DE AIRE	22.23	21.62	19.53	17.40	
PRESION (Kpa)	SALIDA VAPOR SOBRECALENTADO	14700	14660	14390	14170	
	ENTRADA VAPOR RECALENTADO	3721	3616	2656	1982	
	PERDIDAS					
	RECALENTADOR PRIMARIO	180	175	120	80	
	ECONOMIZADOR	320	300	170	100	
	TAMBOR A SALIDA SOBREC	1080	1015	540	250	
TEMPE- RATURA GRADOS C	VAPOR	SALIDA SOBRECALENTADOR	541	541	541	541
		SALIDA RECALENTADOR	541	541	541	541
		ENTRADA RECALENTADOR	346	343	318	298
	GAS	SALIDA ECONOMIZADOR	343	338	326	311
		SALIDA CALENT. AIRE (EXC FUGAS)	148	146	142	139
		SALIDA CALENT. AIRE (INC FUGAS)	144	143	139	135
		AGUA ENT. ECONOMIZADOR	245	243	226	206
	AIRE	ENTRADA CALDERA	30	30	30	30
		ENTRADA CAL. AIRE	69	71	75	79
		SALIDA CAL. AIRE	305	302	297	289
RESIS- TENCIA (Pa)	GAS	HOGAR Y ZONA DE CONVECCION	2080	1836	1459	937
		CONDUCTOS HUMOS A CHIMENEA	231	206	122	68
		CALENTADOR AIRE	1627	1460	916	550
	AIRE	QUEMADORES Y CAJON AIRE	2152	1914	1115	613
		CONDUCTOS Y MEDIDORES CAUDAL	558	496	289	159
		CALENTADOR AIRE	1147	1039	667	407
		PRECALENTADOR POR VAPOR	199	177	103	57
PERDI- DAS DE CALOR %	TOTAL (SALIDA VENT. TIRO FORZADO A CHIMENEA)		7994	7128	4671	2791
	GASES SECOS		4.17	4.13	4.02	4.17
	H2 Y H2O EN COMBUSTIBLE		5.90	5.90	5.86	5.83
	HUMEDAD EN AIRE		0.18	0.18	0.18	0.18
	INQUEMADOS		0.00	0.00	0.00	0.00
	RADIACION		0.21	0.22	0.29	0.42
	IMPREVISTOS Y MARGEN FABRICANTE		0.50	0.50	0.50	0.50
TOTAL PERDIDAS DE CALOR		10.96	10.93	10.85	11.10	
EFICIENCIA CALDERA % SOBRE PCS		89.04	89.07	89.15	88.90	
EFICIENCIA CALDERA % SOBRE PCI		94.15	94.18	94.26	93.97	
BALANCES BASADOS SOBRE AIRE DE COMBUSTION DE ENTRADA A CALDERA CON 0.024 KG HUMEDAD HUMEDAD/AIRE Y PRESION BAROMETRICA DE 760 MM Hg. A 30 GRADOS CENTIGRADOS DE TEMPERATURA						

**FIGURA 2.3 DATOS DE SALIDA DEL CALDERO.**

CARACTERISTICAS DEL COMBUSTIBLE					
A	COMBUSTIBLE QUEMADO				
CARBÓN	MUESTRAS				
	ANÁLISIS ESPECIFICADO				
	GÉNERO				
	ASTM	CLASE			
		GRUPO			
	ORIGEN	MINA			
		YACIMIENTO			
		DISTRITO			
		CONDADO			
	ESTADO				
	TAMAÑO				
	GRANULOMETRÍA				
	HUMEDAD EN SUPERFICIE, %				
	TEMP. REBLANDECIMIENTO CENIZAS, °C (REDUCTORA)				
	ANAL. APROX %	HUMEDAD TOTAL			
MATERIAS VOLATILES					
CARBON FIJO					
CENIZAS					
TOTAL					
ANÁLISIS ELEMENTAL	COMBUSTIBLE		FUEL OIL (1)		
	% EN CENIZA		PESO		
	S		0,3 max.		
	H <sub>2</sub>		1,7 max.		
	C		10,91		
	CH <sub>4</sub>		86,6		
	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>				
	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>				
	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>				
	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>				
	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>				
	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>				
	CO				
	CO <sub>2</sub>				
	SO <sub>2</sub>				
	H <sub>2</sub> O		0,19 max.		
	N <sub>2</sub>		0,10 max.		
	O <sub>2</sub>		0,2		
	TOTAL		100		
	Kcal/kg (PCI)		9720		
Kcal/kg (PCS)		10300			
Nota (1) COMPOSICIÓN Y PODER CALORÍFICO ASUMIDO PARA BALANCES: BUNKER C OIL PARA EL ARRANQUE SE UTILIZARÁ GAS OIL (DIESEL OIL)					

**FIGURA 2.4 TABLA DEL COMBUSTIBLE REQUERIDO POR EL CALDERO.**

## **Proceso de Producción de Vapor**

### Circuito de Agua y Vapor

El agua de alimentación entra en el colector inferior del Economizador, fluye en sentido ascendente a través de tubos del mismo hasta el colector superior, desde donde va al tambor a través de las tuberías de conexión. Debido a la conexión. Debido a la circulación natural, el agua discurre desde el tambor en sentido descendente, a través de los tubos de bajada y a través de los tubos distribuidores, a los colectores inferiores del hogar. El agua sube a continuación a través de los tubos del hogar y haz de convección hasta los colectores superiores y, de los mismos, a través de los tubos ascendentes de conexión, al tambor de vapor.

La mezcla agua–vapor generada en las superficies evaporadas se separa dentro del tambor, en los ciclones separadores que suministran agua libre de vapor para los tubos de bajada. Una ulterior separación del agua tiene lugar en los “scrubbers” primarios y secundarios, a través las cuales pasa el vapor procedente de los ciclones.

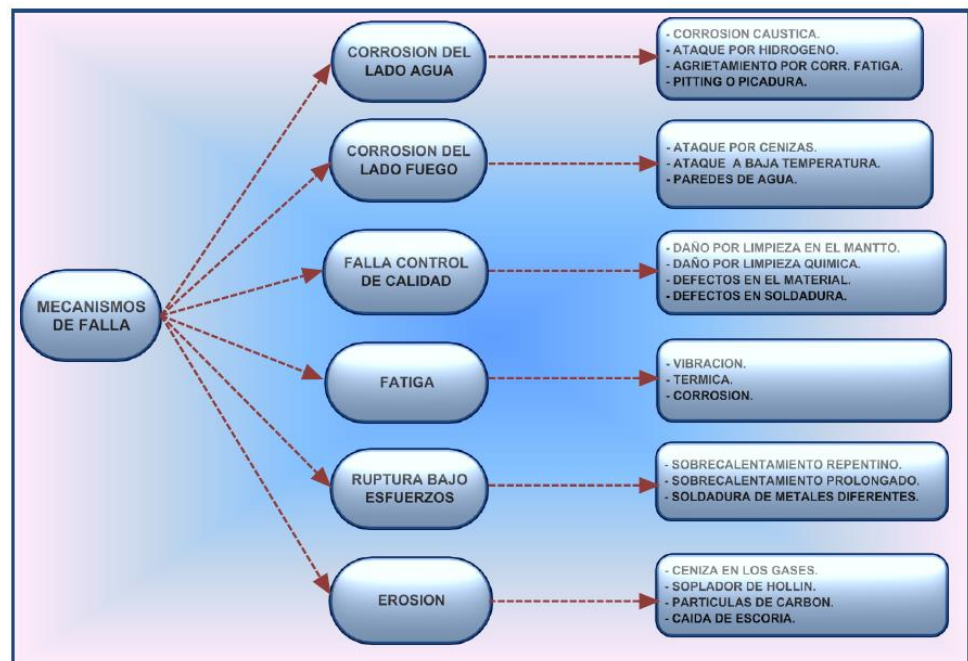
El vapor seco es enviado al colector de entrada del sobrecalentador Primario por medio de tubos que recorren la pared posterior al

segundo paso de los gases. El vapor recorre en sentido ascendente la parte del sobrecalentador primario situada en el segundo paso de gases y a continuación, en sentido descendente, el resto del sobrecalentador primario a través del colector de salida, atraviesa una tubería exterior que conecta el sobrecalentador primario con el secundario, en el cual está instalado el atemperador de inyección. Entra a continuación en el colector inferior del sobrecalentador secundario, atraviesa los tubos de este sentido ascendente y sale por el colector superior del sobrecalentador secundario, a una temperatura de  $T=540^{\circ}\text{C}$  y una presión de  $P= 140 \text{ Kg/cm}^2$  para dirigirse hacia la turbina de alta presión y aportar la energía necesaria para girar la misma.

El vapor que retorna de la turbina de alta presión pasa a través del atemperador del recalentador localizado en la tubería de entrada del vapor recalentado. El vapor de baja presión es introducido en el colector de salida, a una presión de  $P= 38 \text{ Kg/cm}^2$  y una temperatura de  $T=540^{\circ}\text{C}$  para aportar la energía necesaria a la turbina de media y baja presión.

## 2.2 Mecanismos de falla.

Existen varios tipos de mecanismos que han sido sugeridos como responsables para la falla de un tubo de caldera, los cuales pueden ser clasificados en seis grupos:



**FIGURA 2.5 DIAGRAMA MECANISMOS DE FALLA.**

A su vez estos seis grupos se han dividido en 22 mecanismos básicos de falla en tubería de caldera, los cuales en forma independiente o combinada pueden ocasionar una falla. Cada uno de estos es considerado como una causa principal por la que un

tubo puede fallar, sin embargo, se debe considerar la raíz de este mecanismo principal y los mecanismos de falla secundario.

### **2.2.1 Mecanismo de Falla Debido a Ruptura Bajo Esfuerzo.**

Es decir, el mecanismo de falla primario es el proceso que degrado el tubo y produjo la falla; pero, por cada mecanismo de falla, existen muchas circunstancias que pueden generar el proceso, tales como mal control del proceso, errores humanos, etc.

#### **Sobrecalentamiento**

Estas fallas se presentan cuando por algún incidente un tubo se expone a temperaturas excesivamente altas (decenas de grados por arriba de la condición de operación) hasta un punto donde este se deforma. Estas fallas se presentan tanto en tubos enfriados con agua como con vapor. El sobrecalentamiento se presenta bajo condiciones anormales, tales como: perdida de refrigerante o temperatura de gases excesiva.

Normalmente, en las fallas por sobrecalentamiento los tubos sufren una considerable deformación del material, donde

este se comba y sus paredes van reduciendo su espesor, adquiriendo un borde delgado. Para un acero al carbón ferrítico, cuando se presenta una falla de este tipo, es usual la formación de una abertura semejante a una boca de un pez y un abombamiento considerable, siempre cuando este haya fallado antes de exceder su temperatura crítica superior.

#### **Eliminación.-**

Para prevenir este tipo de fallas, se hace necesario mantener a los tubos en condiciones inferiores de temperatura y esfuerzo a los recomendables para el material. Sobrecalentar o sobre-esforzar el material más allá de lo permitido por el código ASME o por el fabricante, acelerará el fenómeno de termo-fluencia y generará una falla prematura en el elemento.

#### **2.2.2 Mecanismo de Falla por Corrosión Lado Agua.**





**FIGURA 2.6 FALLA POR CORROSIÓN DEL LADO AGUA.**

El agua y su control químicos son factores muy importantes en la promoción de corrosión de la superficie interna de los tubos. A la resistencia a la corrosión del tubo dependerá del PH del agua y de la cantidad de contaminantes que esta tenga. La reacción del agua con el acero es espontanea y rápida a temperaturas elevadas, de tal suerte que se formará una capa protectora de óxido de hierro (magnetita)  $Fe_3O_4$ , que evita reacciones posteriores sobre la superficie de acero, sin embargo esta capa protectora es inestable y se solubilizará a PH inferiores a 5 y mayor a 12. Un factor importante en la corrosión lado agua es la cantidad de productos de corrosión que se depositan sobre las paredes de los tubos. La formación del depósito ocurre principalmente en zonas donde el flujo es alterado por cambios de dirección,

soldaduras con anillo de soporte y en tubos inclinados. Los depósitos restringen la transferencia de calor y ocasionan que las temperaturas de la pared del tubo y la propia capa depósito se incrementen.

Dependiendo de cuales contaminantes estén presentes durante el desbalance químico, se puede esperar el mecanismo de falla.

### **Corrosión Cáustica**



**FIGURA 2.7 FALLA POR CORROSIÓN CAUSTICA**

La falla por corrosión cáustica en un tubo de caldera, es el resultado de una superficie de transferencia de calor incrustada y agente corrosivo en el agua del generador. La corrosión cáustica se genera a partir del depósito de productos de corrosión existentes en el agua, en los cuales se puede concentrar el hidróxido de sodio originando valores

de PH altos. A estos niveles de PH altos, la capa protectora de magnetita de los tubos de acero se solubiliza y el material base se corroe rápidamente.

### **Eliminación.-**

Como en general la corrosión cáustica ocurre en condiciones de alcalinidad alta, la susceptibilidad de las calderas de alta presión a este tipo de daño, se puede reducir mejorando el tratamiento químico del agua en el caldero evitando que se formen depósitos y por la observación rutinaria de limpieza química de la unidad. Así como eliminando en lo posible, la exceso de material de aporte que se forma debido a soldaduras en el interior de los tubos.

### **Daño por hidrógeno**



**FIGURA 2.8 FALLA ATAQUE POR HIDRÓGENO.**

Las fallas en tuberías ocasionadas por daño de hidrógeno, se deben a superficies de alta transferencia de calor sucias y a una condición acida de agua de caldera.

El tubo de acero se fragiliza debido a una combinación de hidrogeno y carbono de la aleación, para formar gas metano en los límites de grano del tubo de acero.

El daño por hidrogeno se desarrolla por la generación del mismo durante el proceso de corrosión de la superficie interna del tubo, los átomos de hidrogeno emigran a través del tubo de acero hasta reaccionar el carburo de fierro para formar el metano, las grandes moléculas de metano son entonces atrapadas entre los límites del grano ocasionando grietas internas las cuales van creciendo hasta producir una fractura de tipo frágil en el material del tubo.

Este tipo de daño, normalmente ocasiona un desprendimiento de una sección rectangular del tubo de una manera semejante a la de una abertura de una ventana, los bordes de la fractura son gruesos debido a que el acero ha sido fragilizado por la pérdida de carbón y por la formación de micro fisuras llenas de metano.

Eliminación.\_

Una práctica esencial sería el monitoreo y control de los químicos del agua de caldera para prevenir depósitos en los tubos, ataque por corrosión y daño por hidrógeno. La cantidad, espesor y composición química de los tubos, son factores importantes en la decisión de limpiar químicamente la unidad o no. Sin embargo, se deberá de considerar la limpieza química de la caldera, cuando esta ha operado por más de una hora bajo condiciones de PH inferiores a 7.0 debido a contaminaciones a causa de fugas en los tubos del condensador, o reactivos químicos ácidos procedentes del sistema de tratamiento de agua de la caldera.

### **Picaduras**



**FIGURA 2.9 MECANISMO FALLA POR PICADURA.**

Las fallas en los tubos de caldera causadas por picaduras o corrosión localizada, son resultados de ataque por oxígeno en la superficie interna de dichos tubos. La corrosión localizada del tubo puede producir perforación de la pared de este, al desarrollar una actividad galvánica, cuando una pequeña área del tubo tiene un comportamiento anódico con relación al resto de material.

El ataque por picaduras debido al oxígeno disuelto en el condensado, ha causado fallas, principalmente en los tubos del recalentador. El ataque por picaduras debido a oxígeno en el economizador puede ser un problema, si los niveles de oxígeno son elevados durante el arranque de la caldera y operación a baja carga. Sin embargo se puede alcanzar un daño considerable, con niveles excesivos de oxígeno aun durante un corto periodo de tiempo.

#### **Eliminación.-**

Conservar el generador de vapor lleno de agua con hidracina y los bancos del sobrecalentador y recalentador con nitrógeno para dar una protección total contra picaduras debido al oxígeno durante el paro de la unidad.

**Agrietamiento por corrosión bajo esfuerzos (corrosión por fatiga).**



**FIGURA 2.10 MECANISMO DE FALLA CORROSIÓN BAJO ESFUERZO.**

El mecanismo de agrietamiento por corrosión bajo esfuerzo conocido por siglas en inglés como SCC (STRESS CORROSION CRACKING), se debe a la acción conjunta de un esfuerzo y un medio corrosivo al metal en cuestión.

Este tipo de falla se presenta cuando se conjugan los siguientes factores: esfuerzos de tensión, un medio ambiente corrosivo y un material susceptible. Este tipo de fallas ocurren normalmente en la tubería del sobrecalentador y del recalentador, fabricada con acero inoxidable austenítico. Sin embargo este tipo de daño también se ha encontrado en tubos ferríticos del recalentador, cuando se han introducido

niveles elevados de cáusticos al ciclo, a través del sistema de atemperación.

### **Eliminación.-**

Se deberán de eliminar las condiciones bajo las cuales se presenta este tipo de falla tales como esfuerzos de tensión y un medioambiente corrosivo. Los esfuerzos normales tienen que ver con dobleces, soldaduras, accesorios y soportes. Los agentes corrosivos del lado vapor, generalmente tienen que ver con el acarreo de reactivos químicos del agua de la caldera, debido a un control inadecuado durante la limpieza de la unidad o la inyección de agua rociada en el atemperador, especialmente durante fugas en los tubos del condensador.

### **2.2.3 Mecanismos de Falla por Corrosión Lado de Fuego.**

Los factores importantes en la promoción de la corrosión del lado fuego son: los constituyentes del combustible y las temperaturas del metal de los tubos. La corrosión a baja temperatura se presenta en los elementos del economizador, la corrosión de las paredes de agua del lado fuego se experimenta cerca de los quemadores de combustible y la



corrosión por ceniza de carbón o combustible se presenta en los elementos del sobrecalentador y recalentador.

Los problemas de corrosión lado fuego se presentan a menudo, cuando existe un cambio en el tipo o composición de combustible utilizado, de tal manera que genera cenizas corrosivas a tal grado, que no fueron consideradas en el diseño de la unidad, por lo que se requieren análisis químicos del combustible y sus cenizas, a fin de determinar su grado de corrosión.



**FIGURA 2.11 MECANISMO FALLA POR CORROSIÓN**

La temperatura del metal determinará si se desarrollará o no, sobre él la fase líquida de la ceniza y por consiguiente el mecanismo de corrosión, sin embargo se pueden inyectar aditivos de combustión a las calderas que queman

combustible, para prevenir la formación de la fase líquida o cambiar la composición de los agentes corrosivos a no corrosivos.

### **Corrosión a baja temperatura.**



**FIGURA 2.12 MECANISMO FALLA CORROSIÓN**

Este tipo de falla es el producto de la formación de ácido sulfúrico, el cual es corrosivo para el tubo de acero y le ocasiona ataque por corrosión a la superficie externa. Algunas veces se le refiere a este tipo de ataque como corrosión en frío, ya que se presentan en la sección del economizador, donde las temperaturas son las más frías del generador de vapor. Para que se presente el daño por corrosión a baja temperatura, se requiere que la temperatura del gas o del metal caigan por debajo de la temperatura del

punto del rocío ácido, de tal forma que el ácido sulfúrico se pueda condensar.

El principal método de control de la corrosión a baja temperatura consiste en conservar las temperaturas del metal y del flujo de gases por arriba de la de rocío ácido.

Por otra parte cuando se minimiza el exceso de aire por debajo del 1% de oxígeno, se reduce la formación de trióxido de azufre, y cuando su concentración se conserva por debajo de 10 ppm, este tipo de corrosión no causa problemas.

### **Corrosión en paredes de agua lado caliente.**

Es conocida como corrosión en atmósfera reductora. Al efectuar un cambio en el combustible o en los parámetros de combustión, se deberá tomar en cuenta la posibilidad de este fenómeno corrosivo. Se presenta cuando en el hogar del generador de vapor no se tiene una atmósfera oxidante y la combustión es incompleta. La atmósfera resultante rica en combustible contiene niveles elevados de monóxido de carbono y partículas de carbón sin quemar, estas partículas generan compuestos volátiles de azufre y cloro, las cuales ocasionan que se acelere el proceso de corrosión. Por tanto, una mala combustión o golpeteo intermitente de la flama

sobre las paredes del tubo propician las condiciones adecuadas para la formación de piro-sulfatos mismos que aceleran el proceso corrosivo del metal.

Eliminación.-

Algunas de las acciones a corregir sería la distribución de flujos de aire secundario y la distribución de combustible a través de los quemadores, pero estas serían acciones con mejoría marginal, por lo que la corrección definitiva será la modificación de los ductos de aire y posiblemente el hogar.

**Corrosión por cenizas.**



**FIGURA 2.13 MECANISMO FALLA POR CORROSIÓN.**

La corrosión por ceniza a altas temperaturas se presenta en los elementos del sobrecalentador y recalentador, debido a la erosión o adelgazamiento de las paredes de los tubos. A este

tipo de corrosión se le conoce por “corrosión en fase líquida”. Se presenta cuando se forma un trisulfato de hierro y alcalosis en una gama de temperaturas entre 593°C y 704°C. El trisulfato solubiliza la capa protectora de óxido de hierro y expone a la superficie del metal a un medio corrosivo. Esto produce que el metal se oxide, con la resultante pérdida de material del tubo.

Las fallas por corrosión debido a la cenizas de carbón, se presentan como una ruptura bajo esfuerzo debido a la pérdida de metal a partir de la superficie externa del tubo, presentando la mayor pérdida a partir de la inter-fase de la media caña cubierta con depósito y la media caña descubierta. Sobre la superficie externa del tubo se forma una capa de depósito fuertemente adherido, este depósito consta de tres capas distintas: la capa externa es porosa y abarca casi todo el espesor del depósito, su composición es semejante a la de las cenizas; la capa intermedia es un depósito rojizo de óxido de hierro, el cual se produce por el ataque corrosivo por el tubo en la parte blanquecina o amarilla de sulfato ácido de álcali y sulfato de hierro álcali; finalmente sobre el tubo se puede formar una capa muy dura y de color negro sobre la superficie metálica.

El ataque corrosivo es mayor en los lados del depósito y produce los llamados puntos planos sobre la superficie externa del tubo, en una posición similar a la del reloj cuando marca las dos y diez (a 30° o 45° de la dirección del flujo de gas).

El mecanismo de corrosión por ceniza de carbón a alta temperatura, se combina con el mecanismo de termo-fluencia reduciendo la vida útil de los tubos localizados en las zonas de mayor temperatura dentro de la caldera.

Eliminación.-

Se pueden tomar varias acciones correctivas en función de la magnitud y la extensión del daño por corrosión, algunas de ellas pueden ser:

1. Usar tubos del mismo material pero con mayor espesor de pared.
2. Recubrir los tubos con material resistente a la corrosión.
3. Reemplazar los tubos con otros de material más resistente a la corrosión.
4. Disminuir la temperatura de los tubos, bajando la temperatura del vapor de salida.

5. Diseñar los elementos del sobrecalentador o recalentador modificando en patrón de transferencia de calor, para disminuir la temperatura de pared de los tubos.

#### **2.2.4 Mecanismos de Falla por Erosión.**

La cantidad y la velocidad de las partículas de ceniza, son factores muy importantes, que influyen grandemente en la vida útil de los tubos que forman a la caldera, debido a que estos son la causa que motiva la erosión de los elementos. Se ha demostrado, que para una concentración de partículas de ceniza dada en los flujos de gases, la velocidad de pérdida de metal en el tubo por la erosión, es proporcional a la velocidad de impacto elevada a un exponente de 3,5.

Otros parámetros que influyen en la velocidad de erosión del tubo lo constituye el ángulo de impacto y lo abrasivo de la ceniza, teniéndose el mayor desgaste de material del tubo, cuando el ángulo de impacto entre la corriente de gases y la superficie del tubo es inferior a los 45°.

La erosión de los tubos se puede presentar en varios lugares, y se le puede atribuir por lo menos, cuatro mecanismos diferentes:

1. Erosión por cenizas.
2. Erosión por sopladores de Hollín.
3. Erosión por caída de escoria.
4. Erosión por partículas de carbón.

Los dos primeros mecanismos de falla están relacionados con el impacto de las partículas de ceniza con el material, mientras que los otros dos se relacionan con la abrasión de las escoriaciones o el carbón. Se puede decir que en general, se pueden controlar perfectamente las fallas causadas por erosión, controlando adecuadamente la limpieza interna de la caldera, así como, la correcta operación de los sopladores de hollín.

Cada vez que se presente una falla de este tipo, se deberá efectuar un examen cuidadoso de los tubos adyacentes al daño, para asegurarse de que no se presente una falla similar a corto plazo.

La prevención de fallas por erosión requiere de un plan completo de inspecciones periódicas y mantenimientos de los tubos, cabezales y accesorios para controlar la erosión (se han empleado baffles como una medida correctiva para distribuir el flujo de gases) y prevenir el acarreo de piezas



grandes de escoria hacia los tubos de los bancos horizontales; esta inspección debe de contemplar la medición de espesores de pared del tubo en áreas sospechosas de erosión, para ayudar en la estimación de cuándo será necesario reemplazar los tubos. Otra acción preventiva será la de incrementar el espesor del tubo o colocar mamparas deflectoras que protejan la integridad de los tubos.

#### **2.2.5 Mecanismos de falla por fatiga.**

Los esfuerzos o cargas cíclicas aplicadas sobre los tubos de una caldera, pueden reducir su vida útil, mediante el inicio y propagación de grietas de fatiga. El numero de ciclos requeridos para producir una grieta de fatiga, dependerá del nivel de deformación y el medio ambiente. Normalmente, cuanto mayor es el rango de deformación del material, menor número de ciclos para producir la falla.

Para un rango de bajos niveles de deformación, el material alcanzará un límite de endurecimiento a la fatiga donde no se presentarán grietas de fatiga, sin importar el número de ciclos aplicados.

Las fallas por fatiga en los tubos de una caldera pueden presentarse en varias áreas y distribuirse en tres diferentes mecanismos:

- Fatiga por vibración.
- Fatiga térmica.
- Corrosión fatiga.

#### **Fatiga por vibración.**



**FIGURA 2.13 MECANISMO FALLA FATIGA POR VIBRACIÓN.**

Las grietas debido a fatiga por vibración se desarrollan a partir de la resonancia del tubo, por las fuerzas de corriente de Eddy inducidas por el paso del flujo de gases.

Las grietas se presentan en un punto fijo o sujeto a otro componente de la caldera.

Cuando la frecuencia de alguno de los vórtices esta en resonancia con la frecuencia natural de uno de los tubos, este comenzará a vibrar en dirección perpendicular al flujo de los gases. Si la vibración dura lo suficiente, se desarrollarán grietas en el punto de unión o sujeción del tubo con alguna otra parte de la caldera. Este tipo de fallas se presenta usualmente en bancos de tubos verticales o en la parte posterior de tubos horizontales y muy raramente en tubos pendientes o colgantes. La vibración se inhibe por los depósitos desarrollados sobre la superficie del tubo, los cuales cambian su frecuencia natural. Razón por la cual, este problema se presenta en tubos limpios, principalmente.

#### **Eliminación.-**

Como medida correctiva a esta problemática se han diseñado atenuadores de vibración para disminuir este fenómeno inducido por el flujo de los gases. Estos accesorios se colocan entre o a través de los tubos, para cambiar sus características de vibración, de tal forma que no respondan a las fuerzas que los inducen a vibrar.

### **Fatiga Térmica.**



**FIGURA 2.14 MECANISMO DE FALLA POR FATIGA TÉRMICA.**

Las grietas por fatiga térmica, se deben a cargas sumamente elevadas sobre el material, por ciclos rápidos de temperatura del metal del tubo.

Las condiciones para el inicio y propagación de grietas debidas a fatiga térmica se producen a través de cambios fuertes y repentinos de la temperatura a través del espesor de pared. Las grietas se producen por altos y frecuentes cambios en la temperatura superficial del tubo, si el cambio de temperatura es severo y rápido, se presentará un choque térmico en el tubo, donde se puede presentar la falla dentro de los próximos diez ciclos térmicos o menos. La humectación de la superficie del tubo por agua, la cual tiene

una temperatura mucho menor, puede producir esfuerzos elevados de tensión sobre el material en la superficie humedecida, hasta que el agua se evapore.

El enfriamiento repentino del metal, es conocido como temple, las fuentes principales de temple en el generador de vapor son: Salpicado de agua en el fondo de la caldera, rociado de condensado a través de los sopladores de hollín o por fugas en elementos de la caldera. La tubería de acero austenítico es más susceptible a este efecto, debido a su menor conductividad y su alto coeficiente de expansión térmica.

En ocasiones este tipo de mecanismo de falla es provocado por la falta de refrigerante o un bajo flujo de agua en su interior, debido a obstrucciones o fallas en el equipo de suministro de agua de alimentación.

Como solución a esta problemática se debe de eliminar el contacto de agua con la superficie externa de los tubos, remoción de agua o condensado de las líneas y trampas existentes es el sistema de alimentación de los sopladores de hollín.

Evitar el enfriamiento forzado de los generadores de vapor será una forma de reducir la fatiga térmica a la que se le somete a los elementos cuando se requiere realizar actividades de mantenimiento correctivo, sin embargo se antepone a la prioridad de disponibilidad al sistema.

### ***Corrosión Fatiga.***



**FIGURA 2.15 MECANISMO FALLA CORROSIÓN FATIGA**

La corrosión fatiga se debe al esfuerzo combinado de un medio ambiente corrosivo y esfuerzos cíclicos. Las grietas se desarrollan a partir de la interacción de un proceso corrosivo y esfuerzo fluctuante, mismos que se producen a partir de las siguientes circunstancias:

- Concentración de esfuerzos por la formación de picaduras, entalladuras o cualquier irregularidad superficial debida a corrosión sobre la superficie del tubo.
- Fluctuación de esfuerzos debido a expansiones y contracciones térmicas cíclicas.

Una grieta debido a corrosión fatiga, puede iniciar y propagarse hasta hacer fallar el tubo, en unos cuantos ciclos y a menor nivel de esfuerzos, que lo que normalmente se requeriría para hacer fallar al material por fatiga en un medio ambiente limpio. La superficie de fractura de una falla por corrosión fatiga, será de borde grueso y perpendicular al máximo esfuerzo de tensión, la superficie de fractura estará cubierta por una tenaz capa de óxidos, la que en ocasiones queda eliminada por el agua o vapor que se fuga después de la falla, normalmente se presentan varias grietas paralelas cerca del borde de la falla, requiriéndose un examen microscópico del daño, para confirmar la presencia del mecanismo de corrosión fatiga. Las marcas de playa normalmente encontradas en todo mecanismo de fatiga, no se tienen en estas fallas, debido a que se encuentran eliminadas por el propio proceso de corrosión del material. Las grietas por corrosión-fatiga, se pueden iniciar desde la

superficie externa o interna del tubo, y frecuentemente se encuentran asociadas con picaduras, defectos de soldaduras, entallas o cualquier otra irregularidad superficial.

Las contracciones y expansiones cíclicas, son la causa principal de cargas sobre el material, y la oxidación a altas temperaturas es la causa principal del proceso de corrosión.

Eliminación.-

Revisión minuciosa de las consideraciones de diseño en aquellos sitios donde ocurran diferentes expansiones térmicas. Un análisis de flexibilidad de esfuerzos podrá mostrar las alteraciones a la configuración de la tubería que pueden ser benéficas para disminuir las cargas cíclicas. Se puede reducir el potencial de grietas por corrosión esfuerzo, eliminando los esfuerzos residuales o concentradores de esfuerzo. Otra acción benéfica es efectuar el tratamiento térmico de los dobleces en "U" en los tubos, así como, rediseñar los accesorios soldados a la tubería para eliminar, reducir las restricciones a la expansión y contracción térmica durante los arranques, paros y situaciones de baja carga. De acuerdo a un análisis de vida residual de los tubos, se puede considerar la limpieza química del generador de vapor para



remover los depósitos sobre la superficie interna de los tubos.

#### **2.2.6 Mecanismos de falla por control de calidad.**



**FIGURA 2.16 MECANISMO FALLA POR CONTROL DE CALIDAD.**

La falta de supervisión y la aplicación de un adecuado sistema de control de calidad durante la fabricación, armado, embarque, almacenamiento, instalación, limpieza y mantenimientos; puede provocar la falla prematura de los elementos de un generador de vapor. Se pueden introducir defectos al sistema, durante el proceso de fabricación, almacenamiento e instalación, los errores pueden ser tales como: mala selección del material, limpiezas químicas inadecuadas, etc. Se deben de implantar especificaciones

tanto de fabricante como del comprador en cuanto a mediciones de calidad tales como: inspección visual, pruebas no destructivas, procedimientos de la calificación del personal, criterios de diseño, etc.

### **Daño por limpieza durante el mantenimiento.**

Antes de cualquier reparación o mantenimiento, se requiere una limpieza a los elementos del generador de vapor para retirar bloques de escoria y ceniza que se encuentran dentro del hogar. La limpieza de varias secciones de la tubería es una labor ardua, debido a la masa, tenacidad y dureza de las escorias que van a ser removidas, además de las limitaciones de acceso a algunos lugares de la caldera.

Las limpiezas durante los mantenimientos se han efectuado mediante herramienta con aire comprimido, agua a presión, desbaste, martilleo e inclusive dinamita. Estos procesos pueden dañar los tubos, si no son controlados y ejecutados adecuadamente. Algunos daños en los tubos como deformación, socavado, agrietamiento y adelgazamiento son el resultado de las actividades de limpieza durante los mantenimientos.

### **Daño por limpiezas químicas.**

Los tubos de la caldera han resultado afectados debido a las limpiezas químicas o la contaminación con reactivos ácidos o alcalinos durante la operación normal de la unidad. Por lo tanto se deben controlar totalmente las actividades de limpieza química de la caldera, para prevenir cualquier contaminación en el sistema, así como, neutralizar los reactivos que se hayan empleado durante dicha limpieza. Se deben de seleccionar los solventes químicos adecuados para remover depósitos específicos de las paredes internas de los tubos.

Un paso de mucha importancia al término de las operaciones de limpieza es la remoción y neutralización completa de los reactivos usados para limpiar, a fin de prevenir un posible daño a la tubería. La exposición de la tubería a temperaturas superiores a los 770 °C puede ocasionar un daño severo por corrosión de los tubos.

Resultando un posible ataque por corrosión generalizada debido a una limpieza química inadecuada.

Se debe de llevar a cabo un control estricto de las actividades y reactivos químicos a emplear durante una

limpieza química, con el objeto de minimizar la posibilidad de un daño a la tubería, debido a la limpieza química, las actividades de control deben de contemplar lo siguiente:

1. Selección apropiada de los agentes químicos para llevar a cabo la limpieza.
2. Preparación de los procedimientos de limpieza.
3. Entrenamiento del personal que realizara la actividad.
4. Aislamiento de Instrumentación, tubería y accesorios.
5. Monitoreo permanente de temperatura de metal y circulación de la solución.
6. Monitoreo Permanente de los valores de PH y conductividad.
7. Prueba hidrostática al generador de vapor al concluir el lavado químico.

#### **Operación normal de la unidad.**

Durante la operación de la Unidad se tienen presentes dentro del circuito agua-vapor agentes corrosivos los cuales se emplean durante el control normal químico de la unidad. El ingreso inadvertido de alguno de estos compuestos al circuito agua-vapor,

puede ocasionar efectos desastrosos en los tubos del generador de vapor. La degradación de los tubos a causa de dichos reactivos químicos contaminantes, se manifestará como un mecanismo de corrosión por el lado agua de los tubos como por ejemplo: Daño por hidrogeno, corrosión caustica, etc.

Para minimizar la posibilidad de un daño por ataque de agentes químicos, es necesario contar con un adecuado control de los parámetros químicos del ciclo agua-vapor, monitoreando el proceso de forma periódica, contando para ello con procedimientos específicos para realizar el análisis de los reactivos en cuestión.

Se hace necesario contar con procedimientos de emergencia para las distintas situaciones que se llegarán a presentar, durante la operación normal de la unidad.

Pero más importante será el contar con personal calificado y capacitado, que maneje los procedimientos de control de parámetros químicos y sea capaz de responder ante situaciones fuera de norma.

### **Defectos del material.**

En muchos casos de falla de tubería, se ha determinado que la raíz del daño se encontraba en defectos del material empleado o una mala selección del mismo. Es frecuente que los defectos de un material, se generen durante las operaciones de fabricación, almacenamiento e instalación, los cuales pueden provocar una falla en la tubería de la caldera. Se puede emplear un material equivocado dentro de una caldera, debido a errores de diseño, suministro, almacenamiento o cambios de almacén.

Se deben tomar medidas de control para reducir el número de defectos del material, mismos que pueden provocar una falla en el generador de vapor.

1. Revisión de la selección de los materiales y su especificación.
2. Exámenes no destructivos de la tubería, incluyendo la del almacén.
3. Documentación de especificaciones de compra, embarque, recepción y almacenamiento.

Los registros vitales para la investigación de una falla están constituidos por:

Requisiciones de compra, especificaciones del material, documentos de embarque, recepción, almacenamiento, inspecciones de fabricación e instalación, así como condiciones de operación, sin todos estos controles, es muy probable tener fallas debidas a defectos del material.

#### **Defectos de soldadura.**

Frecuentemente se han presentado fallas en los tubos de la caldera debido a defectos en el proceso de unión de los tubos soldados. Los tubos de una caldera se unen a otros elementos mediante procesos de soldadura efectuados en la fábrica o en el campo. La falta de control durante el proceso de soldadura, puede producir uniones de muy mala calidad. Se generan los defectos en las uniones soldadas a partir de un control inadecuado de temperaturas de relevo de esfuerzos, fusión incompleta, exceso de penetración, inclusiones, porosidad, socavados y grietas.

Las medidas de control para evitar defectos en la soldadura, durante la fabricación e instalación de una caldera requeridas

por el código ASME para calderas y recipientes a presión, son los siguientes:

1. Preparación y calificación de los procesos de soldadura.
2. Calificación de los soldadores.
3. Exámenes no destructivos por personal y métodos calificados.
4. Prueba hidrostática a los recipientes sujetos a presión.
5. Control de materiales, electrodos de soldadura y maquinas de soldar.

La sección numero IX del código ASME cubre las reglas necesarias en la calificación de los métodos de soldadura y de los soldadores, con el objeto de alcanzar soldaduras de calidad.

La sección II parte C del código, proporciona información sobre fabricación, composición química, propiedades mecánicas, acabado requerimientos de prueba, características de operación y usos para las varillas de soldar, electrodos y materiales de relleno.



La sección V contiene los métodos y requerimientos de exámenes no destructivos de soldaduras.

Todas estas secciones del código se formularon para la fabricación de los generadores de vapor, sin embargo, pueden aplicarse durante los trabajos de reparación de caldera.

### **Defectos en el proceso de soldadura.**

**Exceso de penetración.-** Se presenta como un exceso de soldadura sobre la superficie interna. Se caracteriza por una raíz ancha, permitiendo escurrimiento de soldadura hacia la parte posterior de la unión. Este exceso de material actúa como un disturbio al flujo interno, promoviendo un sitio idóneo para corrosión por el lado del agua. El exceso de penetración es causado por falta de habilidad del soldador, una técnica de soldadura inadecuada o un mal arreglo de la unión.

**Porosidad.-** Se refiere a las burbujas de gas o huecos presentes en la soldadura, causados por la suciedad, herrumbre o humedad en la superficie del metal base, en los electrodos o en los equipos de soldar. La formación de porosidad se puede controlar usando, materiales limpios,

equipo con buen mantenimiento, corriente adecuada a cada caso, y longitudes de arco apropiadas.

**Inclusiones.-** Son partículas sólidas atrapadas en el metal de la soldadura o entre el metal de aporte y el material base. Las inclusiones son óxidos, escoria y otros materiales no metálicos. La escoria se puede formar por muchas reacciones que ocurren durante los procesos de soldadura, esta se puede prevenir mediante una buena preparación del perfil a soldar durante cada paso de soldadura.

**Falta de fusión.-** Como su nombre lo indica, es la falta de fusión entre el material de aporte y el material base para lograr una completa unión, es el resultado de técnicas inadecuadas de soldar, diseño incorrecto de la unión o preparación inadecuada de los materiales para soldar. Puede ser ocasionado por calor insuficiente para alcanzar el punto de fusión de los materiales. Esto se puede presentar por falta de acceso a las superficies, corriente para soldar muy baja o velocidad para soldar muy elevada.

**Socavado.-** Es un canal a lo largo del extremo de la soldadura. Es el resultado de técnicas de soldar inadecuadas o corrientes de soldar excesivas para un electrodo en

particular. Este defecto crea una entalladura en la línea de fusión del material que disminuye a la sección transversal de la soldadura y por consiguiente su capacidad de carga. El código usado para soldar definirá la cantidad de socavado que se permita. La profundidad y agudeza del socavado determinará su severidad como defecto.

# CAPÍTULO 3

## 3. ANÁLISIS DEL PROBLEMA

### 3.1 Planteamiento del problema.

La obtención de buenos resultados al desarrollar un proyecto, se basan en un buen análisis de la problemática presente, identificar la causa del problema y adoptar las medidas correctivas que den solución al mismo, haciendo uso de herramientas estadísticas se puede definir e identificar la raíz y plantear las alternativas de su solución.

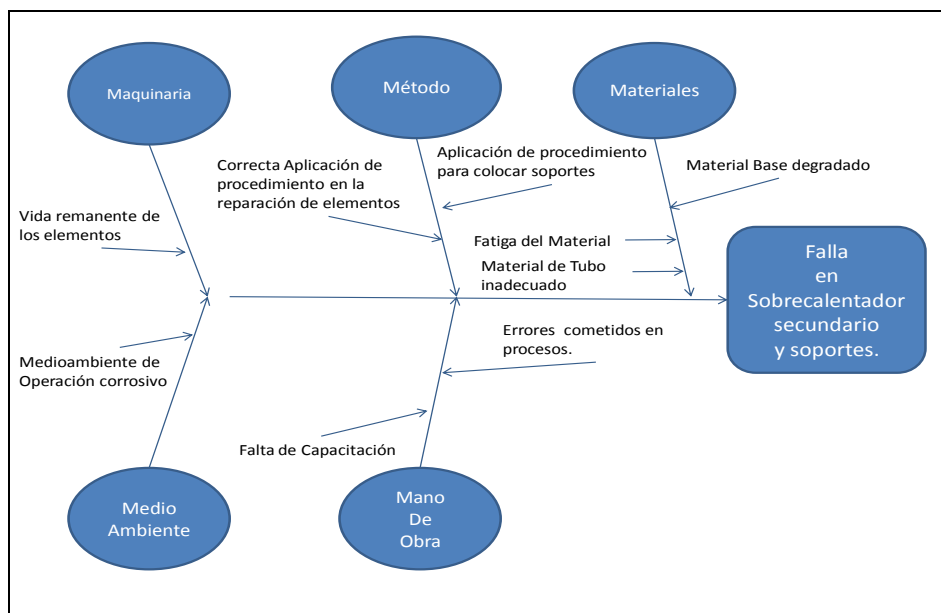
Con el apoyo del personal técnico de supervisión del departamento mecánico de la C.T TRINITARIA, se realizó una reunión con el fin de identificar las fallas encontradas en el caldero, específicamente el desgaste y rupturas presente en los soportes fijos y tubos del sobrecalentador secundario y plantear alternativas de solución a esta serie de irregularidades, que aun implementando medidas

correctivas no han sido suficientes, ya que la falla en estos elementos continua presentándose.

### 3.2 Diagrama causa-efecto.

Para realizar esta actividad se utilizó el diagrama de Ishikawa y lluvia de ideas para determinar las posibles causas, a continuación se plasman los resultados obtenidos en dicha reunión.

#### Diagrama de Ishikawa.



### 3.3 Análisis del diagrama causa-efecto.

Causas Probables:

- Material base degradado por esfuerzo físicos continuos como lo son: el enfriamiento forzado, incremento de generación, tiempo de vida residual.
- Falta de un estudio holístico para seleccionar el material.
- Falta de capacitación en procesos de reparación de elementos.
- No seguir los procedimientos de soldadura para llevar a cabo la colocación de soportes.
- Sobre calentamiento de la zona de colocación de soportes al aplicar el segundo cordón de soldadura entre el metal base de los tubos de pared y los soportes.
- Material inadecuado de los soportes, lo que produce una corrosión del material base.
- Material de los tubos no es el adecuado.
- Modificación de diseño en los soportes fijos.
- Fatiga del Material.
- Ambiente de Operación Corrosivo.
- Deficiencia en la calidad del combustible.

### **3.4 Antecedentes y descripción de la problemática.**

Se debe indicar que las continuas roturas imprevistas de los tubos de las secciones de entrada y salida del sobrecalentador secundario, mismas que durante los últimos años exigió parar la generación eléctrica por varios días y en varias ocasiones, por lo que se debió realizar un análisis sobre la situación de los sobrecalentadores y sus respectivos soportes.

Estas salidas afectan de forma directa los indicadores asociados a la disponibilidad de la unidad, tales como indisponibilidad por falla y decremento de la unidad lo cual se puede traducir a pérdidas económicas por pérdida de generación y que a su vez afecta al factor de confiabilidad con el cliente, el cual al no tener la confianza de que la unidad se encuentra disponible y confiable para el momento que se le requiera, podrá sustituir el pre-despacho de la unidad por una unidad con mayor grado de confiabilidad, lo cual se traduce en pérdida por pre-despacho de la unidad.

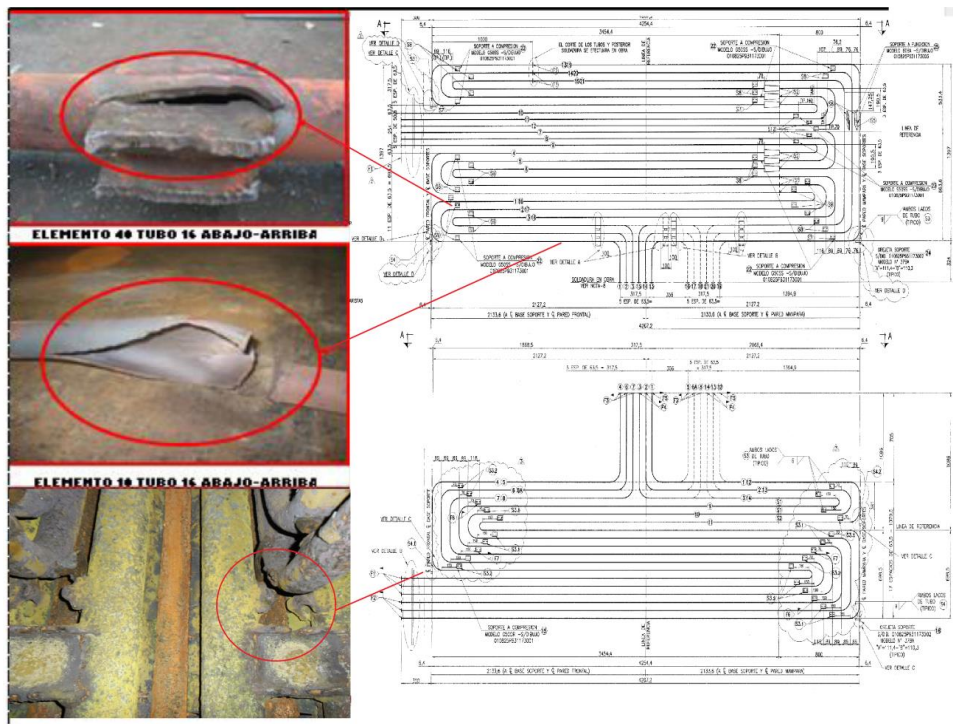
Adicional a las pérdidas por generación y pre-despacho hay que sumar los costos asociados a una salida forzada de la unidad, aunque mínimos, en comparación con la pérdida por energía se deben considerar como tales y son: materiales consumibles y de reparación, herramientas, pagos de salarios extraordinarios,

sustitución del personal que laboro durante la jornada nocturna y alimentos para el personal involucrado en la reparación.

Desde el año 2006 hasta la actualidad se sustituyeron elementos de soporte como también parte de tubería del sobrecalentador secundario del generador de vapor, ya que al degradarse los soportes en la parte inferior y superior del sobrecalentador estos no cumplen la fijación del mismo, esto produce un pandeo en la tubería o una suspensión de los tubos, lo cual es perjudicial en los mismos al encontrarse dentro de una zona sometidos a alta temperatura, estos se deforman de manera permanente y producen un esfuerzo adicional a la resistencia del material presentándose de manera brusca en una ruptura de la tubería, que es comúnmente conocida como “boca de pescado” y se presenta a lo largo del elemento.

De acuerdo a los análisis metalográficos realizados la falla es característica de fatiga térmica, acelerada por un sobrecalentamiento localizado.





**FIGURA 3.1 FALLAS ENCONTRADAS EN EL SOBRECALENTADOR**

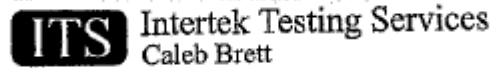
Después de haber realizado las actividades antes mencionadas las fallas se continuaron presentándose en los elementos del sobrecalentado en la zona del banco de salida, lo más relevante fue que algunas de estas fallas se presentaron en los elementos que ya habían sido sustituidos en los mantenimientos anteriores. Por lo que con el apoyo de ENTALPIA S.A. y ELECTROGUAYAS S.A. se determinó que la falla se presenta por un sobrecalentamiento en la zona del banco de salida, además de considerar la carga cíclica a la cual están sometidos los elementos del generador de vapor por

incrementos y decrementos de generación por necesidades del sistema, es el ambiente propicio para la gestación de un mecanismo de falla.

### **3.5 Programación a Mantenimiento.**

No obstante, la frecuencia de fallos en zona del sobrecalentador continuaron presentándose, razón por la cual ELECTROGUAYAS en el mantenimiento del año 2010 se realizaron análisis de la calidad de combustible, estudios en el material de los tubos y los soportes, re-calibración o cambio ciertos equipos e instrumentos para determinar las posibles soluciones a la problemática arrojando los siguientes resultados:

-La calidad del combustible FUEL OIL #6 (Bunker) no es la optima ya que el porcentaje de VANADIO en el mismo es elevado.



### REPORT OF ANALYSIS

VESSEL : ELECTROGUAYAS DATE : MARCH 21 TH, 2010  
 PORT / TERMINAL : GUAYAQUIL YOUR REF : N/A  
 SAMPLE OF\* : FUEL OIL ITS REF : ECE 126-03  
 DRAWN BY : CALEB BRETT ECUADOR S.A. WITNESSED BY : N/A  
 ANALYZED BY : ITS CALEB BRETT ECUADOR, S. A. LAB REF. No. : 039 - 03

SHORE COMPOSITE SAMPLE		
TEST	METHOD	RESULTS
1. SULFUR CONTENT, wt%	ASTM D 4294	2.166
2. FLASH POINT, °F	ASTM D 93B	172
3. WATER AND SEDIMENT, %vol	ASTM D 1756	0.00
4. VISCOSITY REDWOOD @ 100°F	ASTM D 88	5.120.2
5. VISCOSITY SAYBOLT FURUOL @ 50°C	ASTM D98	244.3
6. VISCOSITY SAYBOLT UNIVERSAL @ 110°C	ASTM D98	98.6
7. VISCOSITY SAYBOLT UNIVERSAL @ 120°C	ASTM D 88	75.4
8. CARBON RESIDUE CONRADSON, %wt	ASTM D 189	16.3
9. API GRAVITY @ 60°F	ASTM D 1298	11.8
10. ASH CONTENT, %wt	ASTM D 482	0.082
11. VANADIUM, ppm	ASTM D5863B	204.0
12. SODIUM, ppm	ASTM D5863B	10.3
13. ANALYSIS PRIMARY, C,H,N, S, O, Oxígeno	Leco Carbon	
14. CARBONO, %wt		84.95
15. HIDROGENO, %wt		10.94
16. NITROGENO, %wt		0.078
17. OXIGENO, %wt		0.65
18. WATER FOR DEISTILLATIONS, % vol	ASTM D 95	0.1
19. HEAT THE COMBUSTION, kJ/kg	ASTM D 240	42.530
20. SPECIFIC GRAVITY 60/60°F	ASTM 1298	0.9874

\* As per customer description

ITSFCA 019

Note: This Report of Analysis may not be reproduced in part without the written permission of ITS CALEB BRETT ECUADOR, S. A.

  
 Victor H. Canchiguera B.

ITS CALEB BRETT ECUADOR, S. A.

Caleb Brett Ecuador S.A.

Oficina Guayaquil: Ochoa F 188 y V. 2a-18a (Barrido Sur, P.O. Box 11) / Phone: (593-0) 2011-378 / Fax: (593-0) 9071857  
 Oficinas Guayaquil: Km. 3.5 Vía Zafireña / Phone: (593-0) 701-489 / Fax: (593-0) 9013704  
 Email: factoring@cbre.com.ec

## FIGURA 3.2 ANÁLISIS SOBRE LA COMPOSICIÓN DE FUEL OIL # 6 UTILIZADO EN LOS QUEMADORES.

-La temperatura de la llama en el quemador se debió aumentar por fugas encontradas en el refractario del hogar y la mala calidad en el combustible.

Al ver estas anomalías se tomo la decisión de sustituir todo el sobrecalentador secundario tanto banco de entrada como el de salida con sus respectivos soportes. Por esta razón se emprendió la realización del proyecto para cambiar todas las secciones del sobrecalentador secundario, y como resultado de las gestiones realizadas se encausó el contrato No. 0046-10 de fecha mayo del 2010. Aunque la realización del proyecto se realiza a finales del año 2011.

### **3.6 Posibles Soluciones de la Problemática.**

- Reemplazar partes de la tubería de material base SA-213-T22 introduciendo un material de que resiste mas temperatura y mayor resistencia a la corrosión como lo es un acero SA-213-T91 de mismo diámetro y espesor de pared, respetando la ubicación y colocación en el sobrecalentador.
- Colocar tejas de protección de acero inoxidable A 304 en tubos que se encuentran en la parte inferior de los bancos.
- Debido a la existencia de un alto contenido de Vanadio en el combustible, se propone cambiar el material de los soportes a 50Cr50NiNb el cual es una fundición de acero que resiste mayor temperatura, hecho que asegura una mayor vida útil en su funcionamiento.

- Realizar reparaciones de refractario dentro del hogar y sellos u otras zonas en la cuales podrían presentarse fugas de calor.

# CAPÍTULO 4

## 4. PROCESOS REQUERIDOS PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO

### 4.1 Proceso de aplicación de soldadura.

Las actividades de soldadura resultan normalmente muy complejas y difícilmente el personal que ejecuta los trabajos, pueden cuidar de todos los aspectos que condicionan la fiabilidad de las uniones soldadas. Por esta razón es necesario que previo a realizar la actividad, se verifiquen las cartas de soldadura y planos de diseño, que se proporcione la información completa para soldar sin posibles confusiones en su aplicación, que los materiales constituyentes del componente estén especificados, que los insumos consumibles estén tratados convenientemente y sean los requeridos. Se debe de comprobar que los procedimientos de soldadura estén debidamente

actualizados y que los operadores los conozcan a fondo para llevarlos a cabo. Se debe de verificar que los materiales consumibles tales como electrodos, gases, fundentes y otros cumplan con los requisitos de sus respectivas especificaciones, así como su almacenamiento y utilización en las áreas de trabajo.

A continuación se presenta el listado de Material base en la Soldadura.

- SA – 213 T22
- SA – 213 T91
- 50Cr50NiNb
- AISI 304

De acuerdo con estos materiales se selecciona la soldadura y la posición del soldador, aplicando la norma ASME IX, se realizan los siguientes procedimientos:

- Proceso SMAW (Shield Metal Arc Welding ) - Soldadura con electrodo revestido.
- Proceso GTAW (Gas Tungsten Arc Welding) – Soldadura por arco de tungsteno con gas.

#### **4.2 Soldadura por Arco Metálico Protegido (SMAW).**

Este proceso se utilizará en las soldadura de los soportes que ayudarán a mantener el sobrecalentador alineado dentro del hogar, el material base el cual están formados, perteneciente a la familia de aceros refractarios (50Cr50NiNb), se realizó el respectivo WPS y WPQ para realizar estas soldaduras en campo aplicando la norma AWS 5.11. (ver en anexos).

También se utilizará este proceso para la soldaduras en los peines que sujetan los tubos del sobrecalentador en el interior de la cámara muerta, además es un sello entre el hogar del caldero y la misma cámara. El material de estos peines es un de la familia de los inoxidable el común AISI 304.

Se realizó el respectivo WPS y WPQ para realizar estas soldaduras en campo aplicando la norma AWS 5.4 (ver en apéndices).

#### **4.3 Soldadura por Arco con Electrodo de Tungsteno Protegido por Gas (GTAW).**

Para las soldaduras entre el colector y el sobrecalentador se utilizará un proceso GTAW ya que el mismo hace que sean las soldaduras más limpias y puras comparadas con otros métodos.



Los tubos que conforman el sobrecalentador son de diferentes materiales, es decir son de la misma familia de aceros ferríticos resistentes a la temperatura, pero los porcentajes de sus materiales no son iguales, lo cual muestra diferentes características y diferentes procedimientos de soldadura, de igual manera se realizó los WPS y WPQ para cada material base que conforman el sobrecalentador :

SA – 213 T22. – AWS 5.28 (ver en anexos)

SA – 213 T91. – AWS 5.28 (ver en anexos).

#### **4.4 Restricciones del proceso de soldadura.**

1. La tubería sometida a presión con espesor de ranuras iguales o menores de 6.0mm, requiere por lo menos de dos pasos de soldadura, para espesores mayores de 6.0 mm de espesor se necesitan tres pasos de soldadura como mínimo.
2. El paso de raíz de todas las soldaduras circunferenciales a tope con acceso por un lado solamente, en servicio crítico, debe de realizarse mediante el proceso de soldadura de arco-tungsteno con gas.
3. No deben de utilizarse, anillos de respaldo en servicio crítico del tipo permanente sin la aprobación previa del técnico supervisor en soldadura.

4. Las uniones soldadas deben realizarse concluyendo cada paso antes de depositar los pasos sucesivos, a menos que se pruebe lo contrario para una aplicación específica.
5. En caso de acero inoxidable auténtico, no se permite la aplicación de calor para corregir la distorsión de la soldadura y las desviaciones dimensionales, a menos de que, dentro de un lapso de 3 minutos, se someta la pieza a un recocido total que incluye un templado con agua, por inmersión o aspersion, desde la temperatura de tratamiento térmico de solución hasta abajo de 427°C.
6. No se permite el corte con soplete en acero inoxidable auténtico.
7. La soldadura SMAW debe realizarse utilizando electrodos de bajo contenido de hidrógeno cuando se tengan soldaduras hechas con pasos de raíz por soldadura de arco con electrodo de tungsteno protegido con gas.
8. Antes de soldarse, las superficies se deben limpiar perfectamente mediante limado, esmerilado o con cepillo de alambre y/o solventes. Cada paso debe limpiarse y se le ha de quitar toda la escoria antes de que se deposite el siguiente paso.
9. Antes de soldar la cara de la ranura y las superficies adyacentes deben limpiarse de grasa, aceite, suciedad, etc., la limpieza puede realizarse mediante, cardado, esmerilado o con solventes.

10. Las superficies de la unión a soldar se deben examinar visualmente por si existe humedad antes de la soldadura. Si la humedad está presente, la superficie de unión deberá secarse mediante la aplicación de solventes o con la flama de un soplete.

11. Al pertenecer a la familia de aceros ferríticos, es muy común que se oxide la raíz en el momento de aplicar la soldadura, para evitar que esto suceda se debe crear una atmosfera de gas inerte con un flujo continuo de argón en el interior del tubo.

#### **4.5 Temperatura de precalentamiento entre pasos.**

1. El precalentamiento, conforme a las recomendaciones del código pertinente debe ser obligatorio para los componentes sujetos a presión.

2. Los aceros Ferríticos Cr, Mo se deben precalentar hasta 200°C, como mínimo, cuando el contenido permisible del carbono sea menor de 0.30% y el espesor de la junta sea mayor de 25 mm.

3. La soldadura entre pasos podrá realizarse solo cuando la temperatura del metal sea aproximadamente a 300°C.

4. La temperatura de precalentamiento y entre pasos se determinará mediante crayones indicadores, pirómetros remotos, pirómetros de contacto u otros medios igualmente apropiados que hayan sido aprobados por la parte técnica.

#### **4.6 Reparación de defectos.**

Las reparaciones de soldadura defectuosas se realizarán de acuerdo con el código ANSI/ASME B31.3 y con lo siguiente:

1. Las reparaciones mayores de soldadura en tubería se han de realizar utilizando un procedimiento escrito por el fabricante que haya sido aprobado por la supervisión técnica, se deberá elaborar un reporte detallado, por escrito de cada reparación y se entregará una copia a la supervisión técnica, con fines de registro. El reporte debe indicar la naturaleza, ubicación y magnitud del defecto, el procedimiento de reparación, tratamiento térmico (si se realizó) y debe incluir copias de todos los registros de las pruebas efectuadas.

#### **4.7 Preparación del metal base.**

Los métodos permitidos en la preparación final de los extremos de la unión son: maquinado, esmerilado y corte con plasma. Las superficies de los extremos a soldar cortados con plasma se deben maquinar, limar o esmerilar con el fin de limpiar el metal.

1. El ángulo de biselado, el espaciado y otros detalles deben de estar de acuerdo a la norma ASME vigente.
2. Las herramientas que se utilicen en el proceso deben de estar libres de grasa, aceite y otros contaminantes.

3. El esmerilado debe hacerse con ruedas de esmeril de óxido de aluminio o de carburo de silicio.

#### **4.8 Pruebas No destructivas.**

Son aquellas que determinan la calidad de una parte o material sin limitar su utilidad. Las pruebas no destructivas se utilizan para conservar la maquinaria con el fin de evitar pérdida del servicio no programado y costoso los ensayos a realizar en este proyecto serán:

- Inspección Visual
- Gammagrafía

##### **4.8.1 Inspección visual de la soldadura.**

Técnica empleada para realizar la inspección de procesos, se basa principalmente en la experiencia del personal que realiza la supervisión y se guía en base a procedimientos establecidos bajo normas. Para el caso que se presenta se verificará que se cumpla con los siguientes puntos:

1. Cada soldadura debe tener un ancho y tamaño uniforme a lo largo de toda su longitud. Además el cordón de vista no debe tener ondulaciones ásperas, ranuras, traslapes, ni lomas y valles bruscos. La soldadura terminada, ha de tener

una superficie suficientemente liza para permitir una interpretación correcta de las pruebas no destructivas de la soldadura.

2. Cada paso de soldadura debe estar libre a la vista, de escoria, inclusiones, grietas y porosidades.

3. El mecanismo de limpieza que se emplee para eliminar los defectos y preparar la superficie de las soldaduras, debe hacerse de tal manera que no se formen ranuras o se reduzca el espesor del material base adyacente a la soldadura por debajo del mínimo requerido.

4. Los socavados no deben exceder de los límites establecidos en el código ANSI B31.1 o de 1 mm, lo que sea menor, y no deben reducir el espesor mínimo requerido de la sección.

#### **4.8.2 Gammagrafía.**

El método de prueba radiográfico emplea rayos X o similar radiación penetrante para revelar defectos, discontinuidades, inclusiones, espesor o estructura de objetos. Las normas radiográficas son publicadas por ASTM, ASME, AWS y API, principalmente para el descubrimiento de falta de penetración, falta de fusión, porosidades en objetos

soldados. En este caso se emplea el método de radiografía por película que presenta las siguientes ventajas:

1. Registro permanente en la película.
2. Niveles de energía ajustables.
3. Alta sensibilidad a cambios de densidad.
4. No requiere otro aditamento.
5. Las variaciones de energía no afectan la dirección del haz de rayos.

De igual forma presenta los siguientes inconvenientes:

1. Alto costo de aplicación.
2. La orientación de defectos lineales dentro de la parte pueden ser desfavorables.
3. Riesgo de radiación.
4. Profundidad de defecto no indicada.
5. La sensibilidad decrece con el aumento en radiación dispersa.

#### **4.9 Tratamiento Térmico.**

El objetivo es dar un Tratamiento térmico post soldadura de Alivio de tensiones de acuerdo a requerimientos de la Norma ASME B.31.1 POWER PIPING para:

- Aumentar la tenacidad de la junta, disminuyendo su fragilidad.
- Evitar el agrietamiento por difusión de Hidrogeno (HIC).
- Eliminar zonas con concentración de tensiones que provocan corrosión acelerada (SCC).

#### **4.10 Clasificación de los electrodos (AMERICAN WELDING SOCIETY).**

La especificación AWS A5.11. La cual se refiere a los electrodos para soldadura de Aceros Refractarios, Trabaja con la siguiente designación para electrodos revestidos:

Se especifican 4 o 5 dígitos con la letra E al comienzo, ENiCrFe-3 esto es referente a los compuestos con mayor porcentaje dentro de la aleación. (ver ficha técnica en anexos)

E: Indica electrodo para soldadura por arco.

Ni: Niquel que se encuentra dentro de la aleación con un porcentaje del 68.68%

Cr: Cromo que se encuentra dentro de la aleación con un porcentaje del 16,24%

Fe: El Hierro que se encuentra dentro de la aleación con un porcentaje del 7,2%

3: Tipo de revestimiento y tipo de corriente adecuado para el electrodo, de acuerdo a la siguiente tabla:



**TABLA 1**  
**TIPO DE RECUBRIMIENTO, CORRIENTE Y POLARIDAD DE LOS**  
**ELECTRODOS.**

ULTIMO DIGITO	TIPO DE REVESTIMIENTO	TIPO DE CORRIENTE ELECTRICA	POLARIDAD
0	CELULOSICO SODICO	CORRIENTE CONTINUA	POLARIDAD INVERTIDA
1	CELULOSICO POTASICO	CORRIENTE CONTINUA/ CORRIENTE ALTERNA	POLARIDAD INVERTIDA
2	RUTILICO SODICO	CORRIENTE CONTINUA/ CORRIENTE ALTERNA	POLARIDAD DIRECTA
3	RUTILICO POSTASICO	CORRIENTE CONTINUA /CORRIENTE ALTERNA	POLARIDAD INVERTIDA/POLARIDAD DIRECTA
4	RUTILICO MAS HIERRO EN POLVO	CORRIENTE CONTINUA	POLARIDAD INVERTIDA/POLARIDAD DIRECTA.
5	BAJO EN HIDROGENO SODICO.	CORRIENTE CONTINUA /CORRIENTE ALTERNA	POLARIDAD INVERTIDA
6	BAJO EN HIDROGENO POTASICO	CORRIENTE CONTINUA/ CORRIENTE ALTERNA	POLARIDAD INVERTIDA
7	MINERAL MAS HIERRO EN POLVO	CORRIENTE CONTINUA/ CORRIENTE ALTERNA	POLARIDAD INVERTIDA/POLARIDAD DIRECTA
8	BAJO HIDROGENO MAS HIERRO EN POLVO	CORRIENTE CONTINUA/ CORRIENTE ALTERNA	POLARIDAD INVERTIDA

La especificación AWS A5.4 La cual se refiere a los electrodos para soldadura de Aceros Inoxidables, Trabaja con la siguiente designación para electrodos revestidos:

E 308L: esta nomenclatura 308L, relacionada con la norma AISI 308 que se identifica a los aceros inoxidables, tienen bajo porcentaje de carbono y un alto porcentaje de Níquel el mismo que dentro de sus aleaciones es el que otorga diferentes propiedades al material aunque la principal es impedir la corrosión. (ver ficha técnica en anexos).

La especificación AWS A5.28, trae los requisitos del material de aporte para procesos con protección gaseosa (MIG/MAG, TIG y plasma) y denomina los alambres de la siguiente forma: ER90-SB3; ER90-SB9.;

E: Indica electrodo para soldadura por arco (TIG).

R: Indica aporte que funde por un medio diferente que el conducir la corriente del arco eléctrico (para TIG y plasma), lo indican como un electrodo descubierto.

90: La resistencia a la tracción nominal del depósito de soldadura la cual es igual para todas las referencias, en Kpsi.

S: Indica que se trata de un alambre sólido.

B3 – B9: Es un número que indica la composición química del alambre en este caso indica el porcentaje de Cr y Mo dentro de la aleación lo cual se obtienen diferentes características, en el caso del B3 tiene 2,5%Cr y 1%Mo y el B9 tiene 9%Cr, 1%Mo, Nb y V es decir resiste mayor temperatura.

#### **4.11 Clasificación posición de soldadura (ASME).**

POSICIÓN 1G: Unión de dos tubos a tope, en la cual el eje del tubo está en posición horizontal, el tubo gira durante la aplicación de la

soldadura y esta se aplica en posición plana, de derecha a izquierda o viceversa.

POSICIÓN 2G: Unión de dos tubos a tope, en la cual el eje del tubo está en posición Vertical, el tubo permanece fijo durante la aplicación de la soldadura y el eje del cordón está en posición horizontal.

POSICIÓN 5G: (U) Unión de dos tubos a tope, en la cual el eje del tubo está en posición horizontal, el tubo permanece fijo durante la aplicación de la soldadura y esta se aplica con progresión vertical ascendente.

POSICIÓN 6G: (U) Posición de prueba a tope, en la cual el eje del tubo esta a 45° con relación al plano horizontal, el tubo permanece fijo durante la aplicación de la soldadura y esta se aplica en progresión vertical ascendente.

En las soldaduras realizadas en campo se emplearon las posiciones 2G, 5G y 6G.

#### **4.12 Tipo de junta empleada en el generador de vapor.**

El tipo de unión más empleado para componentes sujetos a presión en los Generadores de Vapor es la junta a tope o Butt Weld, en la mayoría de procedimientos se encuentran diferencias con respecto a el diámetro de la tubería que se desee soldar, así como, la

presión y el fluido a manejar, sin embargo dentro de las actividades del mantenimiento de la Unidades Generadoras se hace uso de este tipo de junta. Los elementos del Generador de Vapor se unen a soldadura a tope con el objeto de no sobrecalentar las partes de los elementos que estarán sujetos al calor de los gases, además se requiere una soldadura con penetración. Por otro lado durante las actividades de mantenimiento correctivo de las unidades se han utilizado otros tipos de juntas, en casos extraordinarios.

#### Tipo “buttweld” o a Tope.

Empleada para realizar uniones de tubería de los Generadores de Vapor cuando se trata de diámetros de tubería por debajo de las 2 ½ pulg; para procesos de soldadura TIG. Empleada cuando se requiere una penetración de soldadura al 100%, se emplea cuando se requiere realizar pruebas no destructivas como gammagrafía para garantizar la calidad de la soldadura. Es la más usada en la unión de tuberías de acero de cualquier clase. Se aplica a toda la gama de presiones y temperaturas. Las tuberías y demás accesorios para soldadura a tope, deben tener sus extremos preparados con biseles que dependen del espesor de la pared.

#### **4.13 Principio de corte oxiacetilénico.**

El corte oxiacetilénico, llamado a veces oxicorte, se utiliza solo para cortar metales ferrosos. La función del metal tiene escasa importancia, en el corte con oxiacetilénico. Lo que ocurre en la realidad es la oxidación rápida del metal que se está cortando. Cuando se calienta un metal ferroso hasta ponerlo al rojo vivo y luego se expone a la acción del oxígeno puro, ocurre una reacción química entre el metal caliente y el oxígeno. Esta reacción llamada oxidación, produce una gran cantidad de calor, la presión del gas oxígeno abre a través del metal una ranura y expulsa los restos del metal quemado.

La tubería tanto de los colectores como de los sobrecalentadores no debe ser cortada con oxicorte, al llegar a temperaturas de fusión en material pierde sus principales propiedades tanto de resistencia al calor y a la corrosión; pero este proceso es válido para el desmontaje de los antiguos sobrecalentadores u otros materiales que estén fuera de uso, ya que se convertirían en chatarra y facilitarían la evacuación de los mismos del interior del caldero.

#### **4.14 Materiales aleados empleados en el generador de vapor.**

Durante la fabricación de un Caldero, suelen emplearse una variedad extensa de tubería de acero. Llegando en ocasiones a medir hasta 480 km de tubería, con diámetros que van desde 1.9 hasta 9 mm. Las temperaturas de pared del tubo pueden variar desde 170°C en la entrada del economizador, hasta 542°C a la salida del sobrecalentador.

La selección del material del tubo depende de la temperatura que el metal va a experimentar, de acuerdo con los criterios de diseño. Los tubos de acero al carbón fabricados bajo la especificación ASME SA-178, SA-192 y SA-210 se usan en la fabricación de tubos del economizador, paredes de agua y tubos de entrada al sobrecalentador de baja temperatura. Los aceros al molibdeno se emplean donde se esperan temperaturas de operación ligeramente mayores, tales como las zonas altamente radiantes que se tienen cerca a la zona de quemadores.

En lugares donde se espera que la temperatura del metal exceda los 427°C, se deberá considerar la resistencia a la termo-fluencia (deformación dependiente del tiempo que ocurre bajo esfuerzos) en el material. A los aceros se les agrega cromo para incrementar su

resistencia a la oxidación y mejorar su resistencia mecánica a altas temperaturas.

Los tubos de acero inoxidable ferríticos se fabrican de acuerdo a la especificación ASME SA-213 y SA-249 y se emplean para proveer resistencia mecánica en altas temperaturas, resistencia a la oxidación y la ductibilidad requerida del material.

# CAPÍTULO 5

## 5. DESARROLLO DEL PROYECTO.

### 5.1 Cronograma de Actividades.

De acuerdo a la situación planteada será necesario realizar un cronograma actividades a realizar para el cambio de secciones del sobrecalentador secundario, adicional al programa de actividades de mantenimiento de toda la unidad, a continuación se presenta el programa de actividades propuesto para realizar dicha actividad este cronograma se encuentra en el anexo.

### 5.2 Selección del Material.

Un factor importante en la selección de un material de tubería es su resistencia a la oxidación en alta temperatura, mientras que la temperatura en el tubo del sobrecalentador puede variar desde



427°C a más de 566°C, el material y su espesor de pared mínimo varían de acuerdo a su posición en los diferentes bancos de tubos. Los materiales varían desde aceros al carbón SA-192 en colectores de entrada al sobrecalentador, hasta aceros inoxidable austeníticos SA-213 T22 exactamente antes del cabezal de salida del sobrecalentador.

De lo anterior se deduce que se requiere un registro exacto de los lugares donde ocurre un cambio de dimensiones y/o material para asegurar el reemplazo con el acero adecuado, así como, su procedimiento de soldadura correspondiente, cada vez que se tenga que efectuar una reparación debida a una falla en el equipo.

En base a los estudios y análisis realizado a los elementos fallados en el generador de vapor y habiendo puesto en marcha dos de las recomendaciones realizadas por BABCOCK&WILCOX ESPAÑOLA S.A. con el fin de minimizar las fallas en los elementos del sobrecalentador, las cuales dieron resultado en forma parcial pero no definitiva, se toma la decisión de cambiar el material base de diseño SA-213-T22 a un SA-213-T91 en los tubos que se encuentran cerca a los quemadores empleando un espesor mayor en la pared, ya que en el de diseño original marca un espesor de pared de 5.78 mm de espesor, se optó por colocar tubería de

material SA-213-T91 con un espesor de pared de 7 mm, con lo cual se espera obtener una respuesta favorable en la disminución de salidas de Unidad por falla del generador de vapor en los elementos del Sobrecalentador secundario. Dado que las fallas en los tubos se presentan en la zona inferior del banco de salida Sobrecalentador y en base al estudio e historial proporcionado por la C.T.TRINITARIA, también se reemplazarán los soportes de los bancos colocados en las paredes de agua en caldero, ya que al debilitarse los mismos hacen que los tubos del sobrecalentador se pandeen de forma que estén más cerca a los quemadores y produzcan fallas.

### **5.3 Determinación de los Elementos a Cambio.**

De acuerdo a la solución resultante del análisis de falla, se hará necesario el cambio de elementos del Sobrecalentador secundario, por lo sé tomo la decisión del reemplazo de del mismo, además se busca implementar el cambio de soportes en los bancos tanto de entrada como de salida en la zona en donde estadísticamente se han presentado la mayor cantidad de fallas.

Esta decisión se toma en base a obtener un grupo estadístico de control, de fácil seguimiento y que sea representativo para medir los resultados obtenidos, parámetros que indiquen si la solución es

factible de implementar en la caldero, ya que esta unidad presenta la misma problemática en otros caldero pertenecientes a CELEC EP. Con el apoyo del departamento de análisis y resultados de la central se obtiene un mapeo de las zonas en las cuales se ha presentado el mayor número de fallas, se descartan las zonas en las cuales se tiene presencia un mínimo de fallas en los elementos.

RESUMEN DE FALLAS DE TUBOS OCURRIDAS EN LA CENTRAL TRINITARIA		
Falla No.	FECHA	OBSERVACIONES
1	29/08/2006	Salida emergente de unidad por fallo en tubo no.10 sección no.4 de banco de salida del sobrecalentador secundario.
2	17/07/2007	Disparo en unidad por fallo en tubo no.12 sección no.14 de banco de entrada del sobrecalentador secundario.
3	13/08/2007	Al realizar prueba hidrostática de caldero previo arranque de unidad, se detecta falla en tubo no.10 sección no.6 de banco de salida de sobrecalentador secundario.
4	16/09/2007	Salida forzada de unidad por fallo en tubo no.10 sección no.6 de banco de salida del sobrecalentador secundario.
5	04/04/2008	Al realizar prueba hidrostática de caldero previo arranque de unidad, se detecta falla en tubo no.12 sección no.19 de banco de entrada de sobrecalentador secundario.
6	20/10/2008	Salida de unidad al detectarse rotura de tubo en banco de entrada al sobrecalentador secundario sección no.7 tubo no.12 al realizar prueba hidrostática se confirma la fuga anterior y se detecta además rotura de tubo en banco de salida del sobrecalentador secundario.
7	07/04/2009	Salida de unidad al detectarse rotura de tubo en caldera, se presenta caída de presión en calderin y en vapor sobrecalentado además de un alto consumo de agua hacia la caldera, fallo a la salida del sobrecalentador secundario.
NOTA: Los números de las secciones son contados en sentido desde la derecha hacia la pared izquierda de caldera. los números de tubos están en relación con los planos de disposición general de los banco de entrada y salida.		

**FIGURA 5.1. CUADRO DE FALLAS OCURRIDAS EN LOS TUBOS DEL CALDERO EN LA C.T.TRINITARIA**

#### **5.4 Preparación de los Tubos.**

Previo a la salida de la unidad a mantenimiento, se inicia con preparativos de las secciones a reemplazar, para estas actividades se destina a un grupo de trabajadores a quitar los embalajes de las mismas y revisar que la tubería suministrada este en perfectas condiciones, ya que en el transcurso del envío podría haber sufrido daños además de inspeccionar los biseles que vienen de fabrica para las juntas que unen los bancos y conexiones con los colectores.

Una vez que se realizó desempaque de las secciones, es necesario ubicarlas en un área limpia y fuera de fuentes que pudieran contaminar la superficie de estos, razón por la cual se acondicionan bases de madera y sobre las mismas asentarlas en posición horizontal, y también colocándoles tapones plásticos en los extremos para evitar la entrada de humedad. Ahí se mantienen hasta el momento en que se requiera realizar el izaje de las secciones.



**FIGURA 5.2. CORTE EN ESTRUCTURA DE EMBALAJE DE SOBRECALENTADOR.**



**FIGURA 5.3 SECCION DE SOBRECALENTADOR SECUNDARIO.**

## 5.5 Salida a Mantenimiento de la Unidad.

Una vez que la unidad ha salido a mantenimiento menor se tramita la libranza ante el superintendente de turno, se estima un lapso de 24 hrs para el enfriamiento por tiro forzado del generador de vapor.

### *Prueba de hermeticidad de la caldera.*

Una de las actividades que se contempla dentro de las actividades de mantenimiento de la unidad consiste en realizar una prueba de hermeticidad del “HOGAR” del generador de vapor, la prueba se realiza restringiendo la salida de gases de la caldera a través de las compuertas de descarga de gases a la atmosfera, y poniendo en servicio los ventiladores de tiro forzado al mínimo, se incrementa el flujo de aire a la caldera en porcentajes del 10% hasta llegar al 70% máximo, mientras se realiza el incremento de flujo de aire, el personal de apoyo vaciará costales cal a la succión de los ventiladores de tiro forzado , al encontrarse presurizada caldera se deja transcurrir un lapso de tiempo durante el cual se verificará la salida del polvo por la chimenea del hogar, una vez observado lo anterior con el personal de apoyo se procederá a recorrer el generador de vapor por la parte externa, con ayuda de pintura en espray se señalan las áreas que quedaron marcadas con el polvo, al quedar estas áreas marcadas con el polvo indican que existe una

fuga que puede ser de aire o gases, la cual se tiene que corregir ya que de hacer caso omiso el problema puede agravarse hasta un punto en donde se haga necesario sacar la unidad para corregir la fuga. En algunos casos la fuga se debe al desgaste de la empaquetadura (solo en puertas de ingreso, que no sellen con cemento refractario), caso contrario se tiene una pérdida de hermeticidad entre elementos de pared que será necesario corregir de forma inmediata, relleno con cemento refractario la fuga y su contorno. Como se observa en la figura se muestran fugas en el contorno del manhole, las mismas que se reparó cambiando el refractario en el sello de ingreso, como en la tapa del mismo.



**FIGURA 5.4 DEMOLICIÓN Y REPARACIÓN DE REFRACTARIO EN  
MANHOLE DE INGRESO AL CALDERO.**

### **5.5.1 Mercado de Elementos y Maniobra de Apertura de Caldero.**

Una vez que transcurrieron las 24 hrs de enfriamiento de la Caldera se inicia con la apertura de manholes, tratándose de un mantenimiento mayor se abren los manholes asociados a los bancos del sobrecalentador, economizador, hogar y los bancos del recalentador. Esta actividad la realizan 2 técnicos mecánicos con sus ayudantes, la cual consiste en retirar tuercas de sujeción con las llaves necesarias en cada uno de los manholes. Una vez que mecánicamente están abiertos, se comienza a retirar el aislamiento refractario que consta de una capa de cemento refractario aluminico con alto porcentaje de sílice y óxido de aluminio, además de refractario plástico de las mismas características.

El aislamiento refractario es retirado de la zona y depositado en sacos y ubicados en los desechos inorgánicos, ya que por estar la unidad en mantenimiento se colocará nuevo refractario en los registros manholes.

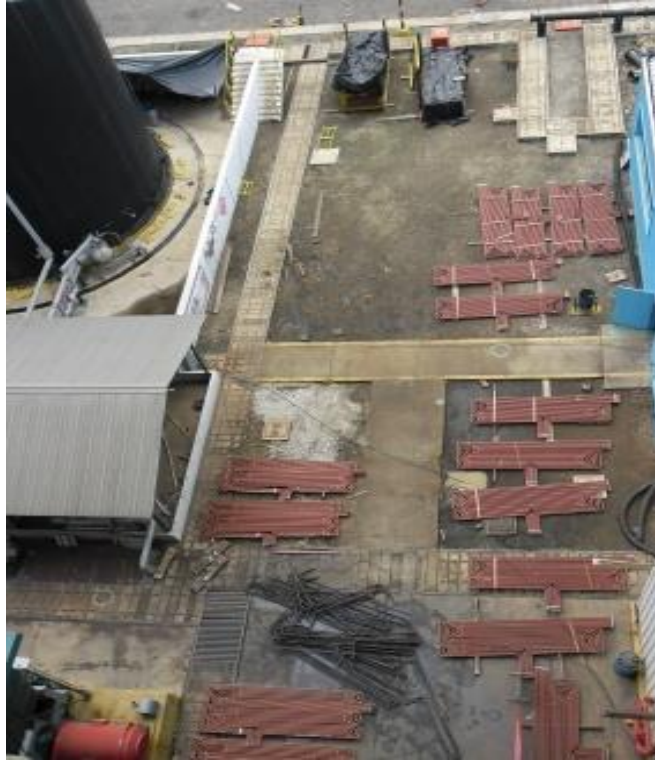
Se procede a la formación de equipos de trabajo entre montadores y soldadores, se distribuyen las áreas de trabajo



del personal se asignan responsabilidades conforme a las áreas asignadas, así mismo se les comunican los objetivos a alcanzar en este mantenimiento, es decir indicarles las secciones de tubería a cambiar de manera secuencial y alternada, ya que se decidió desmontar secciones de tubería y al mismo tiempo montar secciones nuevas para facilitar las maniobras dentro del hogar en el caldero, que en su mayoría se encuentran aproximadamente a 40 metros de altura.

Una vez que se comentaron los alcances a los cuales está enfocados, el personal procede a trasladar el equipo necesario al área de trabajo asignado, haciendo uso del elevador de la unidad, y el malacate para el desmontaje y montaje de las secciones de tubería (serpentina).

Ya localizados los elementos separando las secciones de acuerdo al montaje y ubicado el malacate con su respectiva polea, se realiza la apertura del caldero por la parte inferior, es decir por el cenicero de esta manera se procederá trasladar todos los serpentines antiguos y se elevarán los nuevos de manera segura y sin afectar el resto de equipos en el interior del caldero.



**FIGURA 5.5 SEPARACIÓN Y MARCADO DE SECCIONES ANTES DEL MONTAJE.**

### **5.5.2 Desmontaje de Sobrecalentador Secundario.**

Trascurrido el segundo periodo de enfriamiento ya se puede ingresar al caldero, una vez localizados los segmentos de tubería a desmontar y ubicadas los tablonces en forma de camas encima del sobrecalentador a cambiar, se procede al retiro de peines separadores de elementos, así como el corte de secciones en los Bancos tanto de entrada, como de salida del sobrecalentador secundario.

Se comienza retirando los peines separadores de los elementos con proceso de corte oxiacetilénico, y se cortan con disco las secciones de tubería que se encuentra en la cámara muerta entre los colectores y el sobrecalentador, se retiran las placas de sujeción de los peines y los candados. En la parte intermedia de la sección se encuentran las placas candados las cuales también son retiradas con el mismo proceso de corte con disco, simultáneamente se cortan las secciones de manera alternada para poder desmontarlas por grupos.



**FIG 5.6 SALIDA DE CONEXIÓN SOBRECALENTADOR-COLECTOR  
EN CÁMARA MUERTA.**



**FIGURA 5.7 PLACAS Y PEINES RETIRADOS DE LA CÁMARA**

Una vez que se han retirado los peines y candados de los elementos se procede al corte y desmontaje de las secciones, esto se realiza con la ayuda de tecles, malacate, tirfor y eslingas. Como en el área van a trabajar grupos de 4 técnicos (2 montadores y 2 ayudantes), el sobrecalentador se desmontarán en dos secciones banco de entrada y de salida, se comenzará con el desmontaje del banco de entrada desde los extremos hacia el centro. El Proceso de corte de los elementos del sobrecalentador banco de entrada se realiza soportando los tubos de las secciones, se debe pasar una eslinga entre secciones y colocarla por alrededor de al menos 3 secciones de tubería, ya que al cortar las placas candado y los peines en la cámara muerta, se puede provocar que el peso del elemento rompa la cadena de los tecles, por lo que es necesario cargar a todo el grupo de secciones durante el tiempo en que se sustituyan por las nuevas secciones.



**FIGURA 5.8 CORTE DE TUBERÍA CON PROCESO OXIACETILÉNICO.**

Durante el proceso de desmontaje de las secciones es necesario insistir en soportar las secciones a las cuales se les realizará el corte de los tubos, se debe verificar que las secciones a soportar se encuentren libres de peines y candados, se debe de verificar que no presente atoramiento y se encuentre sujeta por su propio soporte ubicado en las paredes del hogar, una manera de verificar que se encuentra libre es subir las secciones con el malacate de manera leve y debe columpiarse libre, ya que durante mantenimientos anteriores se ha presentado la problemática de fractura de soportes y fractura de tubería, en casos más severos la deformación plástica del elemento o la caída de la sección al cenicero lo cual es muy peligroso, esto puede suceder al momento de tensar la eslinga o cadena.



**FIGURA 5.9 COLOCACIÓN DE FAJAS Y CUERDAS DE SEGURIDAD.**

Una vez realizado el corte de la tubería en secciones, la misma es deslizada muy cuidadosamente con la ayuda del malacate por el interior del hogar en el caldero y ubicada en el cenicero. Posteriormente es retirada del sitio e ingresada al almacén de residuos industriales. Se continúan las actividades en los bancos del sobrecalentador, mientras una parte del personal baja la tubería ya cortada, otra parte del personal se queda en sitio preparando la tubería para la aplicación de la soldadura, esto es realizando la limpieza y biselado de las secciones del tubo que se encuentra en la cámara muerta, para formar la junta con la nueva sección que será montada posteriormente.



**FIGURA 5.10 DESMONTAJE DE SECCIONES DE SOBRECALENTADOR.**

*Bisel de tubería en campo.*

Como ya se menciona el bisel se realiza con la pulidora manual y el disco de desbaste para acercarse al ángulo requerido, una vez que se tiene la aproximación se emplea un motortool con fresa mecánica y con este accesorio se da el acabado al bisel y con esta misma herramienta se realiza la limpieza interna de la tubería. El bisel es requerido ya que



se empleará el procedimiento de soldadura a tope, ya se menciona la necesidad de una soldadura de penetración en los elementos sujetos a presión. La tarea de realizar el bisel en la tubería es una actividad complicada por el hecho de tener que mover la herramienta de trabajo alrededor de la tubería, esto se facilita cuando se realiza el bisel en los costados del tubo, en la parte superior e inferior es donde se complica la tarea y es aquí donde se apoya el personal con una pata de cabra o una sección de madera para “jalar” la tubería unas cuantas pulgadas, que son suficientes para completar la actividad de biselado y limpieza de los tubos. Las nuevas secciones a instalar, vinieron con biseles de fabrica lo que agilitó el proceso de soldadura entre las juntas. El objeto de fabricar un bisel en los elementos a unir a través del proceso de soldadura es la facilitar la unión de los materiales (de aporte y base), crear una estructura uniforme entre los materiales de tal manera que la fusión de ambos sea lo suficientemente solida y fuerte para soportar los esfuerzos a los que serán sometidos.

A su vez el objeto de realizar la limpieza del los extremos de la tubería es la de remover las impurezas que están

presentes en los materiales y evitar que estos contaminen la soldadura durante el proceso.

Una vez realizado el bisel y la limpieza de la tubería, los elementos son cubiertos con cinta de papel adherible comúnmente conocida de papel con el objeto de evitar que se puedan contaminar con residuos de la caldera o por el paso del personal, pero lo más importante, para evitar que se introduzcan objetos extraños en la tubería, esta actividad no se realizaba en el pasado, sin embargo y como se observan en las ilustraciones de mecanismos de falla por control de calidad, se observa que se pueden insertar objetos sólidos y que queden atrapados en los tubos, estos objetos dependiendo del lugar donde se alojen pueden causar daños tales como fallas de elementos por taponamiento y falta de refrigeración, pueden incrustarse en los filtros-mallas de las válvulas de vapor principal de turbina. Se ha llegado a encontrar desde tornillos de 12 mm. provenientes de los separadores ciclónicos del domo superior, laminillas de los propios separadores, varillas de soldaduras, etc.

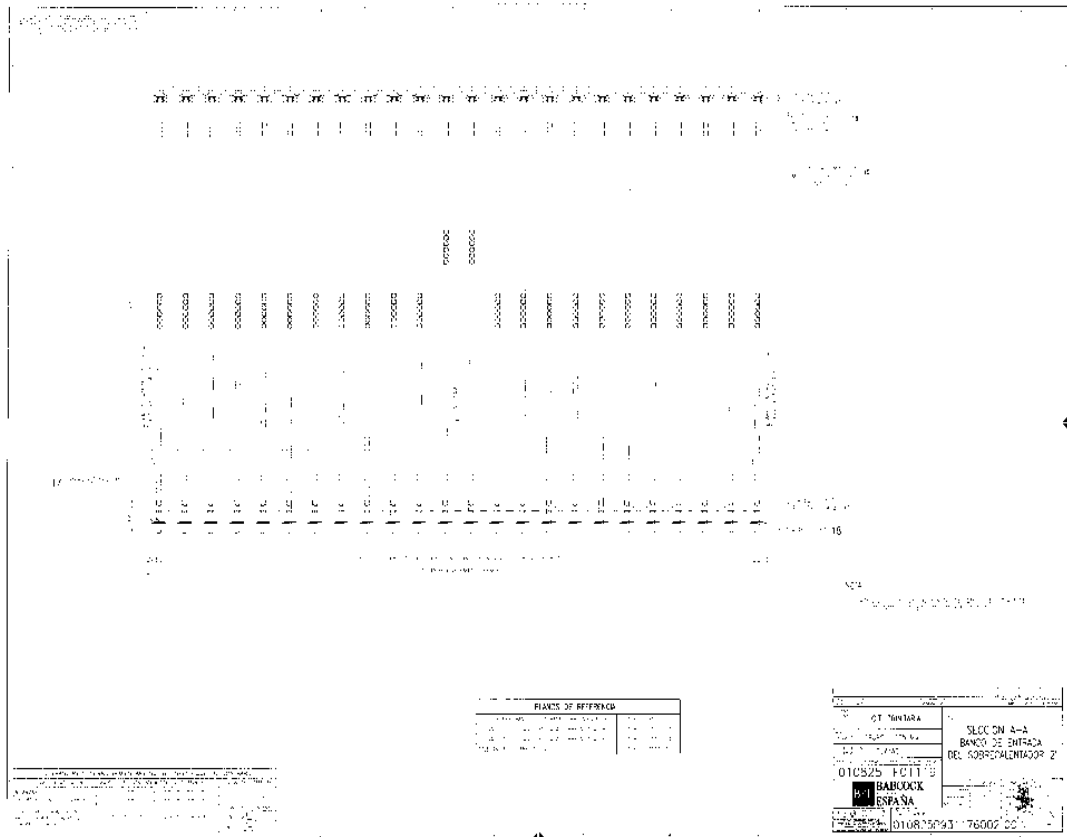


**FIGURA 5.11 BISELADO DE TUBERÍA.**

### **5.5.3 Montaje de Sobrecalentador Secundario.**

Se procederá a realizar el cambio de las secciones del sobrecalentador secundario tanto banco de entrada y de salida, como se indico en el procedimiento de desmontaje, las secciones nuevas serán instaladas alternadamente es decir, no se desmontará todo el sobrecalentador para instalar las nuevas secciones, ya que dentro del hogar del caldero no existen medios de sujeción o anclaje de plataformas.

Para facilidad del montaje se acordó que la secuencia del desmontaje y montaje serian paralelas, se comenzó montando las secciones del banco de salida que se encuentra en la parte superior del sobrecalentador y posteriormente las secciones del banco entrada, el sobrecalentador consta de 24 secciones las cuales fueron numeras de acuerdo a la ubicación del caldero es decir la sección #1, era la primera sección que se encontraba en referencia con la fábrica de fertilizantes FERTISA y la #24 la primera sección que encontraba en referencia con los transformadores principales de la planta, de esta manera se identificaba las secciones según su orden.



**FIGURA 5.12 PLANO DESCRIPTIVO DE UBICACIÓN DE SECCIONES DEL SOBRECALENTADOR.**

Se dividió el sobrecalentador en 4 sectores los cuales constaban de 6 secciones cada uno, el método a seguir fue el siguiente:

#### FASE 1

Se desmontaron y montaron las secciones de la 1 hasta la 6.

#### FASE 2

Se desmontaron y montaron las secciones de la 24 hasta la 19.

#### FASE 4

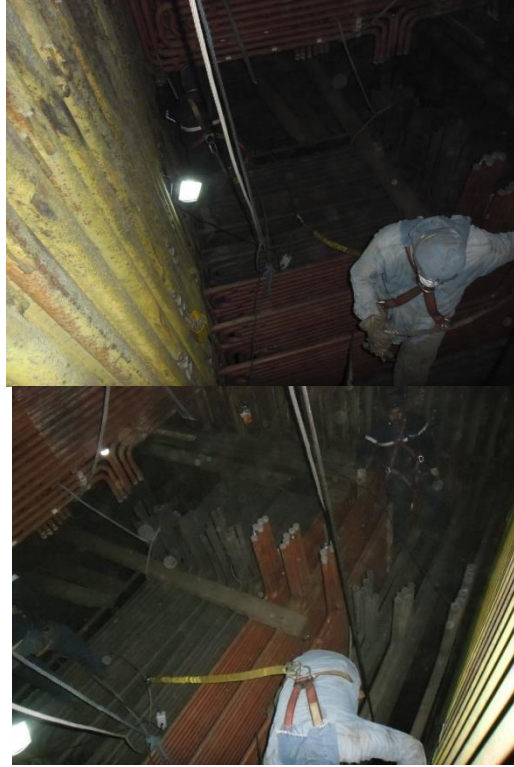
Se desmontaron y montaron las secciones de la 7 hasta la 12.

#### FASE 3

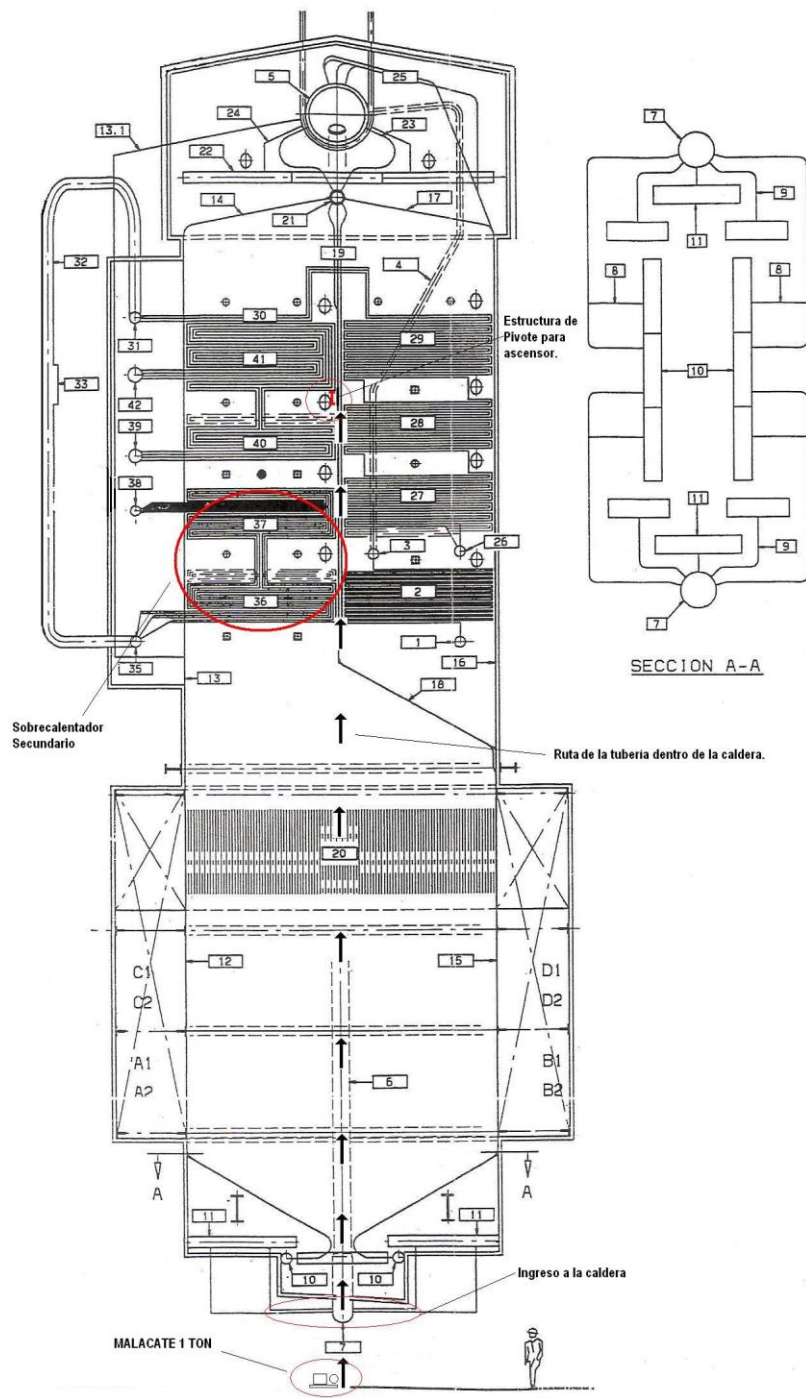
Se desmontaron y montaron las secciones de la 13 hasta la 18.

Al final se alinearon todos los bancos de entrada y de salida así como sus respectivas uniones en la mitad de los mismos.





**FIGURA 5.13 SECUENCIA DEL MONTAJE DE SECCIONES DE SOBRECALENTADOR.**





#### 5.5.4 Unión de Elementos por Soldadura Proceso GTAW.

Previo a las actividades de soldadura en el montaje del sobrecalentador, se realizó la calificación de los soldadores en sitio bajo la supervisión de los inspectores de soldadura, la cual consistió en soldar una probeta del mismo material y las mismas dimensiones de los tubos del sobrecalentador en posición de soldadura 6G, bajo los procedimientos de soldadura ya verificados por la misma fiscalización.



**FIGURA 5.15. PROCESO CALIFICACIÓN DE SOLDADORES.**

Cuando se tienen los tubos a soldar preparados, se colocan los tubos en el lugar en donde van a ser unidos, en esta actividad interactúan tanto el tubero como soldador, ya que la tarea es alinear el elemento a unir. El objeto de alinear los elementos a soldar es dirigir lo más exacto posible los diámetros de la tubería con el fin de evitar fallas como la falta de fusión además de cumplir con la norma con respecto a la desviación permitida para los elementos, que en este caso será solo del 5% del diámetro del elemento.



**FIGURAS 5.16 JUNTAS ENTRE SECCIONES DE SOBRECALENTADOR Y COLECTOR.**

Dentro del proceso de soldadura sugerido por el fabricante de la caldera es el backing, o atmosfera de soldadura. En la fabricación se realiza este proceso seccionando la tubería e ingresando en su interior un gas inerte como CO<sub>2</sub> o Argón para crear esta atmosfera; En campo esta actividad se realiza a menudo y aunque no es mencionada dentro de los procedimientos de soldadura es muy importante en el proceso, se basa principalmente en la experiencia de los soldadores y consiste en rellenar con papel sanitario los extremos de los elementos a unir, esto se realiza con la finalidad de evitar que se produzcan efectos de presiones ya sea negativa o positiva al momento de aplicar el procedimiento de soldadura, ya que por ligera que sea la presión ejercida afecta en el paso de raíz.

Este efecto se presenta no solo en los elementos del Sobrecalentador, sino también por las dimensiones del generador de vapor este efecto se presenta en todos los componentes sujetos a presión de la caldera, esto en cuanto la caldera lleve días apagada.

Una vez que el tubero y soldador están de acuerdo al alineamiento de los tubos, el soldador procede al punteo de los elementos. Esta actividad consiste en colocar unos

pequeños puntos de soldadura a los costados de la tubería ya alineada, se debe de considerar previo a la aplicación de los puntos, la separación entre elementos que recomienda el procedimiento de soldadura, para este caso, la separación entre elementos será de 1/8 de pulgada de separación entre elementos, para dar esta separación se emplea una varilla de soldadura de aporte con este espesor entre elementos, colocada la varilla el soldador procede a aplicar los puntos de soldadura en los extremos de los tubos.



**FIGURA 5.17 COLOCACIÓN PUNTOS DE SOLDADURA.**

Colocados los puntos se retiran las pinzas o prensa empleada para el alineamiento. Los puntos de soldadura colocados para alinear los tubos, serán removidos una vez que el paso de la soldadura de raíz llegue al sitio en donde fueron colocados.

Antes de iniciar al primer paso de soldadura de acuerdo al procedimiento, se debe de aplicar un precalentamiento de los elementos a unir, para este caso se hará uso de un equipo oxiacetilénico con antorcha, para realizar el precalentamiento, el procedimiento de precalentar los elementos se realiza sobre el plano horizontal por un lapso aproximado de 5 minutos posterior a eso se verifica con el pirómetro digital la temperatura de 1500°C una vez que indique esa temperatura el elemento, es momento de iniciar con el procedimiento de aplicación de la soldadura.



**FIGURA 5.18. PRECALENTAMIENTO DE ELEMENTOS.**

Las secciones son de especificación de material SA 213 T22 y SA 213 T91. Proceso de soldadura GTAW, material de aporte ER 90 S B3 y ER 90 S B9

En los soportes se empleará el proceso de soldadura SMAW, material de aporte Nicrolastic 46 (ENiCrFe-3). Durante la aplicación de la soldadura el soldador verifica de forma constante la limpieza de los cordones, la profundidad del paso y que no existan irregularidades en la soldadura, si se detecta alguna de estas irregularidades deberá de corregirlas en el momento con el apoyo del motortool y el disco de corte, deberá desbastar el aporte de soldadura hasta “remove” la falla o irregularidad que se haya detectado.

Un paso importante en el proceso de la aplicación del procedimiento de soldadura es la de evitar el enfriamiento de los elementos, esta inconveniente se puede presentar cuando se interrumpe el proceso para corregir irregularidades detectadas en el paso de soldadura, al detectarse existe un decremento brusco de temperatura en los elementos y es necesario calentar nuevamente los elementos hasta 50°C por encima de la temperatura a la que se encuentre el material en ese momento. Esto con la finalidad de evitar fallas en la soldadura como falta de fusión e incrustaciones de materiales.



**FIGURA 5.19. APLICACIÓN PASO DE RAÍZ EN SOLDADURA.**

De acuerdo a normas AWS (American Welding Society), dependiendo del espesor de pared del material a soldar y del número de paso en caliente, se deberá de realizar una prueba de radiografía de acuerdo al espesor del cordón de soldadura, es este caso no será necesario interrumpir el proceso de aplicación de la soldadura hasta concluirlo completamente. En el momento en que se complete el cordón de acabado se deja enfriar la soldadura y se procede a realizar la radiografía de las juntas.

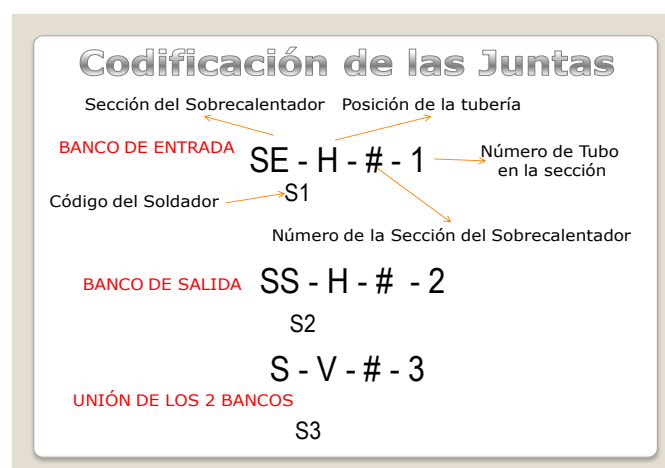
De acuerdo al reporte que entregan los técnicos radiólogos, se procede a reparar la irregularidad señalada en caso de presentarse o su vez continuar con los elementos siguientes. En caso de reportar irregularidades en la soldadura se debe de proceder de acuerdo a las normas aplicables, ya que

dependiendo de la irregularidad reportada se puede realizar limpieza superficial, desbaste de material de aporte para sacar defectos o incluso la necesidad de retirar toda la soldadura y volver a aplicar el procedimiento.



**FIGURA 5.20. INSPECCIÓN DE JUNTAS SOLDADAS**

La codificación utilizada para identificar las juntas fue la siguiente:



**FIGURA 5.21. CODIFICACIÓN JUNTAS DE SOLDADURA**



Algunas de las irregularidades se pueden corregir durante el proceso de aplicación de soldadura, como lo son porosidades, incrustaciones, falta de continuidad, falta de penetración o exceso de penetración. Pero para detectarlas en el momento el soldador debe de estar muy atento y con una iluminación adecuada para observar estas irregularidades. Si este tipo de irregularidades se detectan hasta la exposición radiográfica, se puede tener la necesidad de desbastar toda la soldadura para corregir la irregularidad y de acuerdo a normas solo se permiten tres correcciones de irregularidades antes de tener que desbastar la soldadura en su totalidad. Las más severas: exceso de penetración, falta de fusión y falta de penetración, para corregir será necesario llegar al paso de raíz, desbastar el material y volver a aportar material, la complicación en este tipo de situaciones no es el tiempo de reparación, sino el tiempo que se pierde en volver a radiar las juntas, ya que se debe evacuar toda el área de trabajo alrededor de un radio de 30 metros hasta que se termine el proceso de gammagrafía.

### 5.5.5 Gammagrafía y Reparación de Irregularidades.

A continuación se presentan un cuadro de las juntas realizadas por cada sección y por cada soldador, observándose los rechazos de las juntas inspeccionadas por radiografía.

CUADRO DE SOLDADURAS																							
SE - H - # 1-6						S - V - # 1-6						SS - H - # 1-6											
BANCO DE ENTRADA						UNIÓN DE BANCOS						BANCO DE SALIDA											
1	2	3	4	5	6	S1	1	2	3	4	5	6	S4	1	2	3	4	5	6	S2	1		
1	2	3	4	5	6	S1	1	2	3	4	5	6	S4	1	2	3	4	5	6	S2	2		
1	2	3	4	5	6	S1	1	2	3	4	5	6	S4	1	2	3	4	5	6	S2	3		
1	2	3	4	5	6	S1	1	2	3	4	5	6	S6	1	2	3	4	5	6	S2	4		
1	2	3	4	5	6	S1	1	2	3	4	5	6	S6	1	2	3	4	5	6	S2	5		
1	2	3	4	5	6	S1	1	2	3	4	5	6	S6	1	2	3	4	5	6	S2	6		
1	2	3	4	5	6	S1	1	2	3	4	5	6	S6	1	2	3	4	5	6	S2	7		
1	2	3	4	5	6	S1	1	2	3	4	5	6	S6	1	2	3	4	5	6	S2	8		
1	2	3	4	5	6	S1	1	2	3	4	5	6	S6	1	2	3	4	5	6	S2	9		
1	2	3	4	5	6	S1	1	2	3	4	5	6	S6	1	2	3	4	5	6	S2	10		
1	2	3	4	5	6	S1	1	2	3	4	5	6	S6	1	2	3	4	5	6	S2	11		
1	2	3	4	5	6	S1	1	2	3	4	5	6	S6	1	2	3	4	5	6	S2	12		
1	2	3	4	5	6	S3	1	2	3	4	5	6	S5	1	2	3	4	5	6	S2	13		
1	2	3	4	5	6	S3	1	2	3	4	5	6	S5	1	2	3	4	5	6	S2	14		
1	2	3	4	5	6	S3	1	2	3	4	5	6	S5	1	2	3	4	5	6	S2	15		
1	2	3	4	5	6	S3	1	2	3	4	5	6	S5	1	2	3	4	5	6	S2	16		
1	2	3	4	5	6	S3	1	2	3	4	5	6	S5	1	2	3	4	5	6	S2	17		
1	2	3	4	5	6	S3	1	2	3	4	5	6	S5	1	2	3	4	5	6	S2	18		
1	2	3	4	5	6	S3	1	2	3	4	5	6	S5	1	2	3	4	5	6	S2	19		
1	2	3	4	5	6	S3	1	2	3	4	5	6	S5	1	2	3	4	5	6	S2	20		
1	2	3	4	5	6	S3	1	2	3	4	5	6	S5	1	2	3	4	5	6	S5	21		
1	2	3	4	5	6	S3	1	2	3	4	5	6	S5	1	2	3	4	5	6	S5	22		
1	2	3	4	5	6	S3	1	2	3	4	5	6	S5	1	2	3	4	5	6	S5	23		
1	2	3	4	5	6	S3	1	2	3	4	5	6	S5	1	2	3	4	5	6	S5	24		

<span style="background-color: #f2f2f2; border: 1px solid black; width: 15px; height: 10px; display: inline-block;"></span> SOLDADURA ER90S B3
<span style="background-color: #ffff00; border: 1px solid black; width: 15px; height: 10px; display: inline-block;"></span> SOLDADURA ER90S B9
<span style="background-color: #ff0000; border: 1px solid black; width: 15px; height: 10px; display: inline-block;"></span> REPARACIÓN

FECHA	W.Gómez(S1)	P.López (S2)	Chicalza(S3)	M.Chimbolema(S4)	Ordoñez(S6)	A.Avilla(S5)
22/01/2012.	3	12	4	2	3	8
23/01/2012.	6	12	4	6	5	8
24/01/2012.	7	12	5	3	5	8
25/01/2012.	6	12	5	7	5	12
26/01/2012.	4	12	5	0	5	12
27/01/2012.	4	12	6	0	6	12
28/01/2012.	11	12	8	0	8	12
29/01/2012.	10	12	11	0	8	8
30/01/2012.	12	12	12	0	9	8
31/01/2012.	12	13	12	0	8	9

**FIGURA 5.21 CUADRO DE SOLDADURAS.**

Como se observa en el cuadro, el soldador (S4) tuvo muchas reparaciones al inicio de las soldaduras después de haber sido calificado, al observar esto se decidió reubicarlo en el proyecto enviándolo a realizar soldaduras en otra área del proyecto, ya que al parecer tenía inconvenientes al realizar

las soldaduras en el sobrecalentador, posterior a la inspección de las juntas por medio de la gammagrafía se reparo aquellas que presentaban inconvenientes principalmente poros en la soldadura se procede al desbaste de la soldadura por medios mecánicos hasta eliminar la irregularidad reportada, para proceder nuevamente a aplicar el procedimiento de soldadura, al final se termino satisfactoriamente con todas las reparaciones en las juntas.

#### **5.5.6 Tratamiento Térmico a la Soldadura.**

La empresa ENTALPIA a través del Ing. Jaime Samudio, Director de Proyecto, contrata con SENDIP el Tratamiento térmico post soldadura PWHT en 288 juntas circulares soldadas del Sobrecalentador secundario de caldero en tubería ASTM SA 213 Grado T 91, T 22 Y T 2 de diámetros 38 y 50,8mm. y espesores 5.72, 5.84, 7, 8 mm., para realizarse en la Central Térmica Trinitaria, ciudad de Guayaquil – Provincia del Guayas.

El objetivo es dar un Tratamiento térmico post soldadura de Alivio de tensiones de acuerdo a requerimientos de la Norma ASME B.31.1 POWER PIPING para:

- Aumentar la tenacidad de la junta, disminuyendo su fragilidad.
- Evitar el agrietamiento por difusión de Hidrogeno. HIC
- Eliminar zonas con concentración de tensiones que provocan corrosión acelerada SCC.

Los Tratamientos se lo realizan desde el 30 de enero al 12 de febrero 2012 en 144 juntas soldadas del Banco de Salida y 144 en la Unión de Bancos, debido a que no se dispone de espacio entre tubos para realizar tratamientos térmicos individuales, el tratamiento térmico se lo ejecutó agrupando a las 6 juntas soldadas que se encuentran alineadas y unidas, se realizaron tres tratamientos térmicos simultáneos, uno de control cercano a la ventana de acceso y dos alejados hacia el interior en condiciones iguales al primero, por lo que en cada PWHT, se cubrió tres grupos de tubos con 6 Juntas soldadas cada uno, en total 18 juntas soldadas por Tratamiento, como se indica en el siguiente procedimiento:

1. Montaje de resistencia eléctricas alrededor de las 6 juntas soldadas, en tres grupos de tubos, cubrir con manto cerámico y colocar las termocuplas.

2. Primera fase de calentamiento no controlado durante 40 minutos hasta 300°C.
3. Se mantiene 5 minutos a 300°C
4. Segunda fase de calentamiento de la junta durante 90 minutos a una velocidad menor a 335°C/Hora hasta alcanzar 730°C
5. Mantener constante esta temperatura durante 40 minutos
6. Primera fase de enfriamiento controlado de la junta durante 90 minutos a una velocidad menor a 335°C/hora, desde 730°C hasta 300°C.
7. Segunda fase de enfriamiento no controlado desde 300°C a la temperatura ambiente, manteniendo cubierta las juntas con el manto cerámico aislante.
8. Inspección radiográfica en 30 juntas que representa el 10% de las juntas con PWHT.

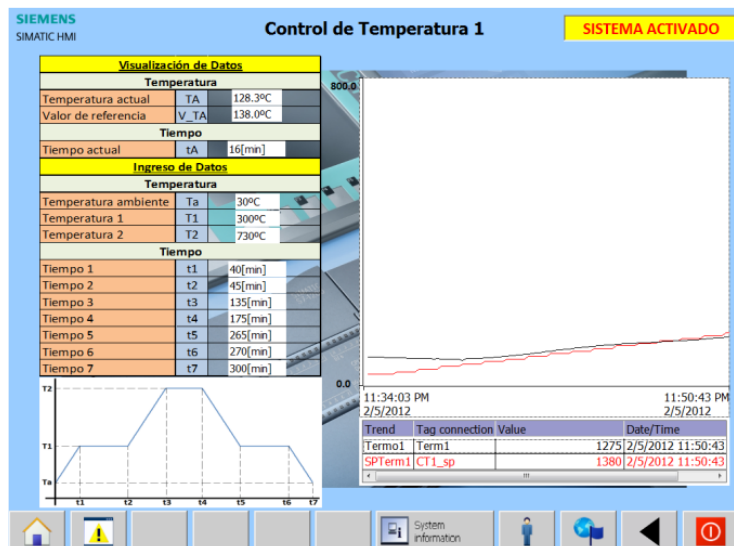
Se aplican 8 Tratamientos térmico post soldadura de Alivio de tensiones PWHT, en 144 juntas soldadas en el banco de salida en acero SA-213 T-91.

Se realizan 8 PWHT en 144, 6 juntas soldadas, 24 en acero SA-213 T-91, 48 en juntas de acero SA-213 T-91 con T-22,

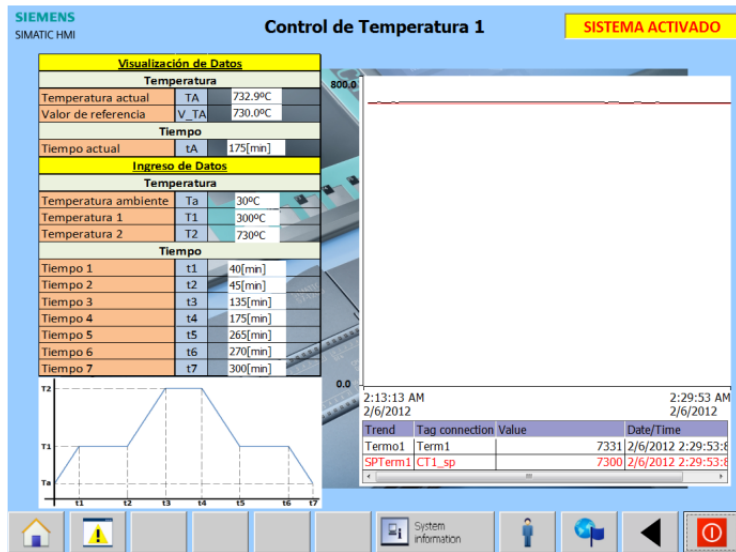
48 juntas de acero SA-213 T-22 y 24 juntas de acero SA-213 T-2.

Las 16 Graficas No. 01-CTT de la curva de tratamiento ejecutado en los PWHT realizados se adjuntan:

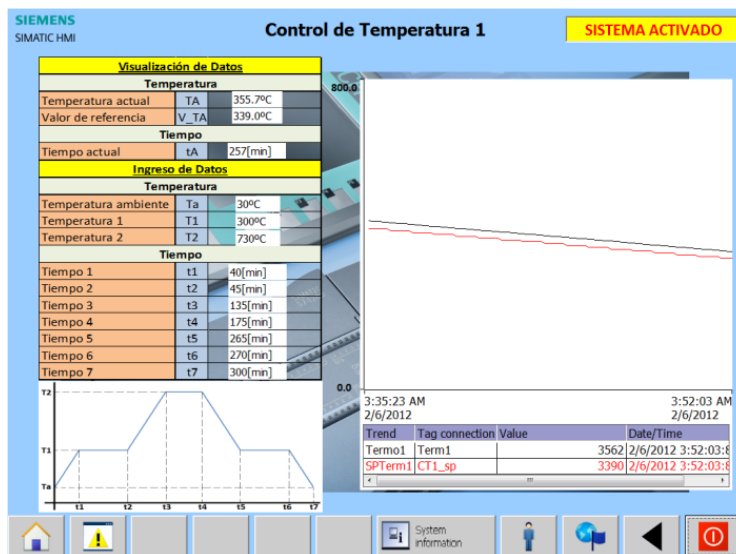
Las CURVAS DE TEMPERATURA TEORICA Y REAL VS TIEMPO en las juntas soldadas tienen esta tendencia.



**FIGURA 5.22 PRIMERA FASE DE CALENTAMIENTO NO CONTROLADO.**



**FIGURA 5.23 FASE DE MANTENIMIENTO DE LA TEMPERATURA A 730 °C.**



**FIGURA 5.24 PRIMERA FASE DE ENFRIAMIENTO CONTROLADO.**

Proceso:

- a. El Tratamiento térmico post soldadura para el acero SA-213 T-91, perteneciente al grupo P No. 5B se realizó de acuerdo a requerimientos de la Norma ASME B.31.1 POWER PIPING y se lo desarrollo en un tiempo de 300 minutos (aproximadamente 5 horas) .
- b. Se cumple con una velocidad de calentamiento de 286°.C/hora, inferior a la máxima de 335°.C/hora, en el rango de temperaturas controladas de 300°.C a 730°C.
- c. Se mantiene la temperatura entre 700 y 760°.C por un lapso mayor a 40 minutos, siendo lo mínimo establecido de 20 minutos.
- d. Se cumple una velocidad de enfriamiento de 286°.C/hora, inferior a la máxima de 335°.C/hora, en el rango de temperaturas controladas entre 730°.C y 300°.C disminuyendo aun más la velocidad a partir de este valor.
- e. En la Inspección radiográfica del 10% de las juntas soldadas con PWHT, realizado posterior al PWHT no se encontraron defectos (fisuras), según se indica en los Informes de Inspección radiográfica No. 2825 y 2826 que se adjunta.



- f. Por lo que se concluye que el PWHT realizado en las 288 juntas soldadas, cumple los requerimientos de la norma ASME B 31.1.

#### **5.5.7 Colocación de Peines y Placas Candado.**

Las argollas “U” que sujetan a las secciones, vinieron instaladas de fabrica en platina de espesor 10mm en material SA 316, en medio de las “U” tienen unos separadores los cuales una vez instalada y soldada la sección se procede a soldar en las intersecciones para fijar los tubos de las secciones y no se pandeen con el calor ni el paso del tiempo. Los peines son placas de SA 304 de 6 y 10 mm de espesor, estos peines también fueron suministrados por el fabricante ya que al desmontar las secciones del sobrecalentador todos los anteriores fueron cortados o modificados para facilidad del desmontaje en la cámara muerta.

El procedimiento de soldadura de los peines será similar al de colocación de las placas a través de proceso GTAW, con la variación del precalentamiento. En los peines no es necesario un precalentamiento previo ni la aplicación de pruebas no destructivas.

Una vez colocados los candados en los elementos, los peines separadores, las placas separadoras entre bancos, es retirado el equipo de montaje y equipo de soldadura empleado en el cambio de las secciones pasa a realizar las soldaduras en las placas y los peines, el paso siguiente será realizar una nueva prueba hidrostática del caldero en coordinación con el personal de operación. Concluida la prueba en el caldero se procederá al cierre de manholes del generador de vapor, el cierre de registros se realiza colocando cemento refractario plástico en la tapa de ingreso y cerrando espacios entre ladrillos con cemento refractario.

Colocados los peines en la cámara muerta se funde nuevamente el sello de cemento refractario sobre los ladrillos, permitiendo el fraguado del cemento por espacio de 90 minutos. Posterior al cierre de manholes con el material refractario se procede al cierre de manholes de forma mecánica, actividad realizada por mecánicos con llave en mano y en compañía del supervisor del montaje, se verifica que ningún manholes que deba llevar material refractario se cierre mecánicamente sin haberlo colocado.

Posterior al cierre de manholes del generador de vapor, se realiza un nuevo recorrido de la caldera para confirmar que no se quede abierto ningún manhole de las diferentes secciones de la caldera, para evitar fugas en la operación del caldero, se procede a entregar el caldero al departamento de operación a través del retiro del bloqueo, quedando el equipo disponible para su puesta en servicio.

# CAPÍTULO 6

## 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Una vez concluidas las actividades se realiza una prueba hidrostática del generador de vapor con resultados satisfactorios, procediendo al cierre de actividades del generador, cierre de manholes y entrega de equipo disponible al área de operación para su puesta en servicio.

Dentro de las actividades no rutinarias del mantenimiento de la unidad, se realizaron actividades diversas como cambio de refractario aislante en cámara muerta, así como en algunos manholes del hogar, también el cambio de algunos soportes de sujeción dentro del hogar del caldero.

Se realizó estudio de vida remanente de las partes sujetas a presión de los elementos del generador de vapor por parte de personal de la central.

Presentando el reporte de los estudios realizados, comentando estado general de los componentes y realizando sugerencias para mantener la tasa de erosión–corrosión de los elementos dentro de parámetros normales. Los cuales son planteados al área de producción para su implementación y verificación de parámetros operativos.

De acuerdo al registro de fallas que se han presentado en la unidad, se puede corroborar que desde el arranque del equipo posterior al mantenimiento hasta la actualidad no se presento falla alguna en los elementos del banco del sobrecalentador secundario, lo que representa un logro para un periodo aproximado de 20 meses sin presentarse salida de la unidad por este concepto.

### **6.1 Análisis del Cronograma Programado vs Real.**

En los apéndices se encontrará el cronograma inicial del proyecto como también cronograma final vs Inicial, observando un alargue de 9 días, este retraso en la entrega del proyecto principalmente se encuentra en las actividades de la soldadura en las juntas del sobrecalentador, puesto que el rendimiento de los soldadores disminuyo por la incomodidad en la zona, además de la toma de gammagrafía en las mismas.

Se debía despejar totalmente el área de trabajo para realizar esta actividad, lo cual interrumpía el ritmo de trabajo de todo el personal no solo los soldadores, para remediar un poco el atraso se realizó una reunión entre el personal de CELEC EP, la empresa que realizaba el montaje y la fiscalización para acordar trabajar a doble jornada en la soldadura para recuperar esos días de atraso, pero también influyo el tratamiento térmico post soldadura para alivio de tensiones en las juntas lo que consecutivamente alargó el plazo de entrega del proyecto.

Se solicitó una prórroga de 10 días indicando los inconvenientes durante el proyecto, la cual fue aprobada por parte del directorio de la central.

## 6.2 Estimación de Costos.

**TABLA 2**  
**ANÁLISIS DE COSTOS**

ESTIMACIÓN DE COSTOS DEL PERSONAL UTILIZADO EN EL PROYECTO				
CARGO	CANTIDAD	DIAS DE TRABAJO	COSTO DIARIO	COSTO TOTAL
DIRECTOR DEL PROYECTO	1	63	\$ 400.00	\$ 5,200.00
INGENIERO RESIDENTE	1	63	\$ 300.00	\$ 8,900.00
QA/QC	1	63	\$ 300.00	\$ 8,900.00
SUPERVISOR DE MONTAJE	2	63	\$ 200.00	\$ 2,600.00
ARGONEROS	5	63	\$ 200.00	\$ 2,600.00
SOLDADORES	3	63	\$ 120.00	\$ 7,560.00
TUBEROS	5	63	\$ 160.00	\$ 0,080.00
MECANICOS	4	63	\$ 120.00	\$ 7,560.00

AYUDANTES	8	63	\$ 80.00	\$ 5,040.00
AISLADORES	4	9	\$ 120.00	\$ 1,080.00
REFRACTARISTAS	4	9	\$ 20.00	\$ 1,080.00
<b>SUBTOTAL 1</b>	<b>38</b>	<b>63</b>	<b>\$ 2,120.00</b>	<b>\$ 120,600.00</b>

ESTIMACIÓN DE COSTOS MATERIALES UTILIZADOS EN EL PROYECTO.				
MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
<b>SUMINISTRO POR B&amp;W ESPAÑOLA</b>				
Suministro de 24 Secciones a la entrada y 24 Secciones a la salida del Sobrecalentador Secundario, soportería, Supervisión y todos los demás servicios incluidos ofrecidos por BPE	GLOBAL	1	\$ 1,132,695.00	\$ 1,132,695.00
<b>SUMINISTROS LOCALES</b>				
Ladrillo aislante UA-26	UNIDAD	2340	\$ 5.90	\$ 13,806.00
Tabletas refractaria U-33 12X12X2 1/2"	UNIDAD	420	\$ 24.10	\$ 10,122.00
Cemento Superaerofrax ( 35Kg/ caneca )	CANECA	12	\$ 1.80	\$ 21.60
Cemento Plástico Erplax 40	KG	600	\$ 3.05	\$ 1,830.00
Fibra cerámica B-8 ( densidad 8 Lb/pie <sup>3</sup> )	ROLLO	4	\$ 122.00	\$ 488.00
Varilla inoxidable - 304, 8 mm	UNIDAD	21	\$ 52.30	\$ 1,098.30
Tuerca inoxidable 8mm	UNIDAD	650	\$ 0.19	\$ 123.50
Arandela inoxidable 8mm	UNIDAD	650	\$ 0.17	\$ 110.50
Refractario Bajo Cemento, CBC-70	KG	2500	\$ 1.95	\$ 4,875.00
Malla expandida, 1.4mm - 1.22X2.44 mtr	UNIDAD	7	\$ 40.40	\$ 282.80
Varilla inoxidable 304 1/8" - 6mtr	UNIDAD	7	\$ 18.00	\$ 126.00
Soldadura TIG ( ER-80)	KG	25	\$ 29.00	\$ 725.00
<b>MATERIALES MENORES Y FUNGIBLES</b>				
Argón	BOTELLA	24	\$ 131.00	\$ 3,144.00
KIT CAMBIO Argón	UNIDAD	6	\$ 35.00	\$ 210.00
OXIGENO	CARGA	6	\$ 13.50	\$ 81.00
ACETILENO	CARGA	1	\$ 85.00	\$ 85.00
Disco de corte 7"	UNIDAD	5	\$ 2.23	\$ 11.15
Disco de corte 4"	UNIDAD	5	\$ 2.45	\$ 12.25
Disco de desbaste 7"	UNIDAD	20	\$ 2.73	\$ 54.60
Disco de desbaste 4"	UNIDAD	5	\$ 2.20	\$ 11.00
Gratas circulares de 4" con tuerca	UNIDAD	10	\$ 13.45	\$ 134.50
Guantes de napa	UNIDAD	60	\$ 2.30	\$ 138.00
Guantes de Argonero	UNIDAD	12	\$ 5.60	\$ 67.20
Cascos con orejeras	UNIDAD	20	\$ 17.80	\$ 356.00

Barbiquejos	UNIDAD	10	\$ 1.00	\$ 10.00
Gafas transparentes	UNIDAD	50	\$ 2.57	\$ 128.50
Gafas oscuras	UNIDAD	20	\$ 2.10	\$ 42.00
Vidrios claros	UNIDAD	20	\$ 0.25	\$ 5.00
Vidrios oscuros	UNIDAD	10	\$ 0.35	\$ 3.50
Careta de soldar	UNIDAD	4	\$ 6.00	\$ 24.00
Careta facial	UNIDAD	2	\$ 5.00	\$ 10.00
Pechera de soldar	UNIDAD	7	\$ 5.50	\$ 38.50
Mangas de soldar	UNIDAD	14	\$ 3.60	\$ 50.40
Macarillas para soldadores 8210	UNIDAD	14	\$ 19.00	\$ 266.00
Cinta de seguridad	ROLLO	2	\$ 35.00	\$ 70.00
Nivel torpedo	UNIDAD	2	\$ 9.00	\$ 18.00
Flexómetro	UNIDAD	5	\$ 8.10	\$ 40.50
Tiza industrial	CAJA	2	\$ 13.00	\$ 26.00
Marcadores de Metal	UNIDAD	4	\$ 7.00	\$ 28.00
Chispero	UNIDAD	2	\$ 2.00	\$ 4.00
Piedra para chispero	UNIDAD	25	\$ 0.25	\$ 6.25
Fresas de acero para motor turbo	UNIDAD	4	\$ 26.00	\$ 104.00
<b>DOTACIÓN</b>				
Camisas	UNIDAD	66	\$ 9.60	\$ 633.60
Camisetas	UNIDAD	66	\$ 3.75	\$ 247.50
Pantalón	UNIDAD	33	\$ 10.00	\$ 330.00
Botas	UNIDAD	33	\$ 26.00	\$ 858.00
			<b>SUBTOTAL 2</b>	<b>\$ 1,173,552.15</b>

ESTIMACIÓN DE COSTOS INDIRECTOS DEL PROYECTO				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
HERRAMIENTA	GLOBAL	1	\$ 38,824.56	\$ 38,824.56
TRANSPORTE	GLOBAL	1	\$ 8,000.00	\$ 8,000.00
POLIZAS	GLOBAL	1	\$ 10,800.00	\$ 10,800.00
SEGUROS	DÍAS	1	\$ 6,463.80	\$ 6,463.80
IMPREVISTOS	GLOBAL	1	\$ 64,707.61	\$ 64,707.61
			<b>SUBTOTAL 3</b>	<b>\$ 128,795.97</b>

ESTIMACIÓN DE COSTOS PARA IMPLANTACIÓN DEL PROYECTO				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
MANO DE OBRA	GLOBAL	1	\$ 120,600.00	\$ 120,600.00



MATERIALES	GLOBAL	1	\$ 1,173,552.15	\$ 1,173,552.15
OTROS GASTOS	GLOBAL	1	\$ 128,795.97	\$ 128,795.97
			<b>TOTAL</b>	<b>\$ 1,422,948.12</b>

ESTIMACIÓN DE COSTOS POR UNIDAD FUERA DE SERVICIO				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
COSTO DEL MW POR HORA	MW/H	133.00	\$ 80.80	<b>\$ 10,746.40</b>
COSTO DE PRODUCCIÓN MW POR HORA	MW/H	133.00	\$ 60.00	<b>\$ 7,980.00</b>
COSTO DE LA PARADA DIARIO	GLOBAL	1	\$ 66,393.60	<b>\$ 66,393.60</b>
COSTO TOTAL DE LA PARADA	DÍAS	63	\$ 66,393.60	<b>\$ 4,182,796.80</b>

De acuerdo a esta estimación de los costos involucrados en la sustitución del *SOBRECALENTADOR SECUANDARIO* del generador de vapor se puede apreciar que el costo por dejar de generar una hora es aproximadamente de \$6.078.722,98, descontando los costos de producción que aproximadamente son un 75% del costo de generación arroja una cantidad de \$4.513.903,20, lo que indica que se dejan de percibir como ingresos aproximadamente \$1.564.819,78 de dólares por hora que se encuentre la unidad fuera de línea.

En comparación con la estimación de costos a invertir para llevar a cabo la sustitución del sobrecalentador en comparación con dejar de generar, la diferencia es muy amplia y más si se considera que para una salida por mantenimiento forzado la unidad permanece fuera de línea mínimo por un espacio de 48 hrs en promedio.

# CAPÍTULO 7

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Luego de haber efectuado este proyecto de tesis se concluye lo siguiente:

1. Los resultados obtenidos con respecto a los problemas del generador de vapor al implantarse el cambio del sobrecalentador, se puede observar que en la tabla proporcionada por el departamento de operaciones de CELEC EP, la ultima falla reportada antes del cambio de elementos fue el 7 de abril del 2009, posterior al cambio del sobrecalentador hasta la actualidad, se cumplieron 20 meses de trabajo del generador de vapor sin presentar fallas en el mismo.
2. En base a resultados obtenidos con el cambio del diseño del sobrecalentador (modificación en el espesor de pared y el material base), son alentadores como solución definitiva a la falla ocurrida en los elementos del SB, se tendrá que esperar un tiempo razonable para confirmar que efectivamente la solución es definitiva y a su vez que los


elementos sustituidos hayan sido sometidos a los esfuerzos cíclicos repetitivos de incremento y decremento de generación. Aunque hasta el momento no se han presentado fallas en los elementos que se reemplazaron.

3. El desarrollo del proyecto en su totalidad estuvo a cargo de personal nacional, se realizó una alianza entre ENTALPIA S.A, CELEC EP (C.T.TRINITARIA y FISCALIZACIÓN), demostrando que existe mano de obra y profesionales capacitados y competentes para desarrollar este tipo de proyectos. Contribuyendo de esta manera, al desarrollo técnico y profesional en el Ecuador.
4. En cuanto al análisis económico, los costos evaluados demuestran que la reparación realizada en el caldero es viable, en comparación con la pérdida que tendría CELEC EP al dejar de generar energía eléctrica, en una parada emergente de 48 horas.
5. Finalmente se puede concluir que este proyecto representa un impulso al desarrollo en la industria de generación eléctrica, ya que al tener la experiencia y conocimientos de este tipo de mantenimientos, se los podrá realizar en otras plantas generadoras evitando así la contratación extranjera, y fomentando el desarrollo técnico en un país donde la matriz productiva está cambiando de manera positiva.

Se recomienda lo siguiente:

1. Se recomienda realizar todos los procedimientos y normas mencionadas en el desarrollo del proyecto con la finalidad de evitar fallas o errores en los mismos.
2. Se recomienda realizar inspecciones periódicas en diferentes zonas del caldero para evitar fallos en los elementos, los cuales puedan producir mantenimientos correctivos en un periodo muy corto de tiempo.
3. Es indispensable que se cumplan con las normas de seguridad adecuadas para realizar las maniobras sugeridas en este proyecto, ya que lo más importante es evitar accidentes que pongan en riesgo la vida humana o causar daños irreparables.

# APÉNDICES

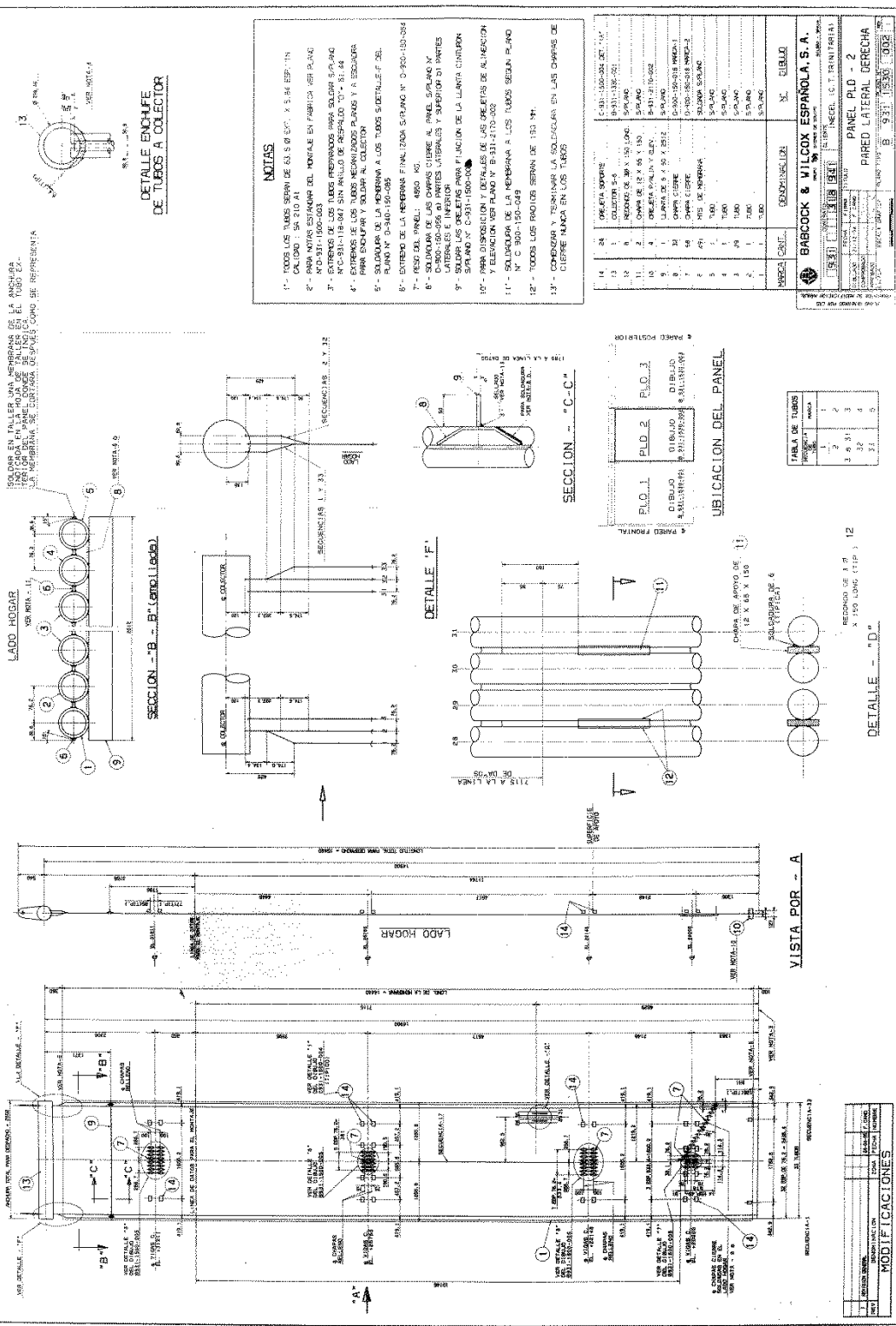
 <p><b>ENTALPIA</b> Ingeniería Proyectos &amp; Servicios</p> <p><b>Análisis de Tareas de Riesgo</b> <b>ATR - 001</b></p>	<p>Título de la Obra o Trabajo :</p> <p><b>DESMONTE Y MONTAJE DE LOS SOBRECALENTADORES SECUNDARIOS DE ENTRADA Y DE SALIDA DE LA CALDERA ACUOTUBULAR DE LA TERMOELECTRICA DE TRINITARIA</b></p>	
	<p>Fecha de ejecución obra :</p> <p>02/01/2012</p>	<p>Firma y aclaración del Ejecutante:</p>
<p>Localización de la Obra :</p> <p><i>Termoeléctrica de Trinitaria</i></p>	<p>Fecha ejecución ATR :</p> <p>15/10/2011</p>	<p>Realizado por:</p> <p>Gustavo Echeverría F.</p>
<p><b>Peligros Especiales o Principales:</b> Caída de objeto, aplastamiento, golpes, quemaduras, electrocución, caídas por altura, salpicadura, contacto con polvo.</p>		
<p><b>Consideraciones especiales relacionadas con el sistema de detección y alarma: NA</b></p>		
<p><b>Equipo de Protección Personal Recomendado o Requerido:</b> Guantes, casco, gafas de seguridad, zapatos punta de acero, arnés, protector facial, polainas, mangas, protección auditiva, peto, protección respiratoria.</p>		
<p><b>Pasos Básicos de la Obra/Trabajo</b></p>	<p><b>Peligros Potenciales o Existentes</b></p>	<p><b>Medidas Preventivas Recomendadas</b></p>
<p><b>Observación:</b> En la realización de todas las tareas debe confeccionarse el permiso de trabajo correspondiente, coordinar acciones con las áreas afectadas de la empresa contratante y con otros contratistas que trabajen en el área.</p>		
<p>Revisión de equipo nuevo</p>	<p>Golpes, Caída al mismo nivel.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mantener orden y limpieza del sector.</li> <li>• Solicitar permisos de trabajos para las tareas a realizar.</li> <li>• Coordinar tareas con Jefe de área, controlando posibles interacciones con otros equipos de trabajo.</li> <li>• Colocar carteles indicativos para el área.</li> <li>• Asignar área de almacenamiento temporal de tubería</li> <li>• Esta tarea se la realiza entre dos personas.</li> <li>• Inspección de EPP: Casco, zapato punta de acero, guantes, gafas de seguridad.</li> <li>• Los EPP se lo utiliza para todas las tareas.</li> </ul>

Desmontaje de cenicero de	<p>Quemaduras de segundo grado,</p> <p>Salpicadura de polvo,</p> <p>Caída de personas,</p> <p>Aplastamiento,</p> <p>Golpes,</p> <p>Abolladura.</p> <p>Caída de materiales y herramientas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revisión previa de herramientas.</li> <li>• Colocarse monogafas protectoras, guantes, casco y zapatos punta de acero arnés, respirador y protector facial.</li> <li>• Demarcar y señalizar área de trabajo.</li> <li>• Restringir acceso al área de trabajo.</li> <li>• Usar arnés con línea de vida anclada en punto fijo.</li> <li>• Inspección de arnés y línea de vida</li> <li>• Inspeccionar herramientas oxicorte y pulidoras de disco metálico.</li> <li>• Desmontar el refractario, sacando las arandelas de cierre del piso y levantando el revestimiento.</li> <li>• Verificar amarre en punto de anclaje</li> <li>• Usar sacos para evacuar desperdicios.</li> <li>• No circular persona debajo de la carga.</li> <li>• Este trabajo es realizado por 8 personas.</li> </ul>
Instalación de malacate de ascenso.	<p>Caída persona,</p> <p>Golpes.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Demarcar y señalizar área de trabajo mínimo 5 metros de distancia.</li> <li>• Restringir acceso al área de trabajo</li> <li>• Inspección previa de EPP, arnés, respirador P3, monogafas de seguridad, zapato punta de acero, guante</li> <li>• Verificar que ninguna persona se encuentre debajo de la tarea durante la instalación.</li> </ul>
Instalación de soportaría para trabajo de sobrecalentadores de entrada y de salida.	<p>Electrocución,</p> <p>Quemaduras de segundo grado,</p> <p>Paro cardio respiratorio,</p> <p>Caída de persona y herramientas.</p> <p>Golpes,</p> <p>Salpicaduras.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revisión previa de herramientas.</li> <li>• Colocarse gafas protectoras, guantes, casco, zapatos punta de acero, arnés, respirador, polainas, mangas y peto.</li> <li>• Demarcar y señalizar área de trabajo.</li> <li>• Restringir acceso al área de trabajo.</li> <li>• Inspección de herramientas</li> <li>• Se instalan dos cuerdas de vida, para que todo el personal trabaje, con la correspondiente seguridad.</li> <li>• No circular persona bajo la soportería.</li> <li>• Se colocan las plataformas de trabajo en madera.</li> <li>• Llevar extintores cargados y debidamente revisados</li> <li>• No circular persona bajo la caldera.</li> </ul>

<p>Desmontaje y montaje del sobrecalentador de entrada y de salida</p>	<p>Electrocución, Quemaduras de segundo grado, Paro cardio respiratorio,  Salpicadura de polvo,  Aplastamiento,  Caída de persona y herramientas,  Golpes,  Salpicaduras.  Abolladura</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revisión previa de herramientas.</li> <li>• Colocarse gafas protectoras, guantes, casco, zapatos punta de acero, arnés, respirador, polainas, mangas y peto.</li> <li>• Demarcar y señalizar área de trabajo.</li> <li>• Restringir acceso al área de trabajo.</li> <li>• Inspección de herramientas</li> <li>• Desmontar el refractario y evacuar con sacos fuera de la caldera.</li> <li>• No circular persona bajo la tubería en el momento del izaje.</li> <li>• Llevar extintores cargados y debidamente revisados</li> <li>• Retirar la antigua tubería con ayuda del malacate con sumo cuidado.</li> <li>• Evitar en la maniobra posibles golpes con la tubería al caldero.</li> <li>• Revisión de las líneas de vida, para que todo el personal trabaje, con la correspondiente seguridad.</li> </ul>
<p>Alivio de esfuerzos y RX o ultrasonido</p>	<p>Quemaduras,  Caída de persona y herramientas,  Golpes</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Demarcar y señalizar área de trabajo mínimo 5 metros de distancia.</li> <li>• Restringir acceso al área de trabajo</li> <li>• Inspección previa de EPP, arnés, respirador, monogafas de seguridad, zapato punta de acero, guante.</li> <li>• Al momento de colocar las mantas térmicas usar guantes.</li> <li>• Se instalan dos cuerdas de vida, para que todo el personal trabaje, con la correspondiente seguridad.</li> </ul>



**PLANOS**



**DETALLE ENCHUFE DE TUBOS A COLECTOR**

- NOTAS**
- 1°- TODOS LOS TUBOS SERAN DE 63.5 Ø" X 5.5 W. ESP. 11N CAL. 101 : SA 210 A1
  - 2°- PARA MONTAR ESTANQUIE EL MONTAJE EN FABRICA VER PLANO P-3011-150-003 LOSQUE MEMBRANAS PARA CALOR S-P-400 P-3011-150-007 SIN RAYOS DE DESPLAZO "D" Y "E" 4"
  - 3°- EXTREMOS DE LOS TUBOS MECANIZADOS PLANOS Y A ESCALERA PARA ENCHUFAR Y SOLDAR AL COLECTOR
  - 4°- SOLDADURA DE LA MEMBRANA A LOS TUBOS S/DETALLE F DEL PLANO N° 0-340-010-005
  - 5°- EXTENSO DE LA MEMBRANA FINAL PARA S-P-400 N° 0-300-150-004
  - 6°- RESOLUCION DEL PANEL: 4800 102
  - 7°- PARA MONTAR ESTANQUIE EL MONTAJE EN FABRICA VER PLANO P-3011-150-003 LOSQUE MEMBRANAS PARA CALOR S-P-400 P-3011-150-007 SIN RAYOS DE DESPLAZO "D" Y "E" 4"
  - 8°- PARA MONTAR ESTANQUIE EL MONTAJE EN FABRICA VER PLANO P-3011-150-003 LOSQUE MEMBRANAS PARA CALOR S-P-400 P-3011-150-007 SIN RAYOS DE DESPLAZO "D" Y "E" 4"
  - 9°- SOLDAR LOS COLECTOS PARA FUNCION DE LA LAMPA CONTIENE LATERALES E INTERIOR
  - 10°- PARA DISEÑAR Y MONTAJE DE LOS COLECTOS DE ALIMENTACION Y ELEVACION VER PLANO N° B-311-270-002
  - 11°- SOLDADURA DE LA MEMBRANA A LOS TUBOS SEGUN PLANO N° C 300-150-049
  - 12°- TODOS LOS RAYOS SERAN DE 103 11"
  - 13°- COLECTOS Y MEMBRANAS A SOLDADURA EN LOS COLECTOS DE COLECTOR MARCA EN LOS TUBOS

NO.	DESCRIPCION	QUANTIDAD	UNIDAD
14	08-KATA S-P-400	1	COLECTOR S-P-400
15	08-KATA S-P-400	1	MEMBRANA DE 20 X 150 LONG. S-P-400
16	08-KATA S-P-400	1	MEMBRANA DE 12 X 58 X 150 S-P-400
17	08-KATA S-P-400	1	MEMBRANA DE 12 X 58 X 150 S-P-400
18	08-KATA S-P-400	1	MEMBRANA DE 12 X 58 X 150 S-P-400
19	08-KATA S-P-400	1	MEMBRANA DE 12 X 58 X 150 S-P-400
20	08-KATA S-P-400	1	MEMBRANA DE 12 X 58 X 150 S-P-400
21	08-KATA S-P-400	1	MEMBRANA DE 12 X 58 X 150 S-P-400
22	08-KATA S-P-400	1	MEMBRANA DE 12 X 58 X 150 S-P-400
23	08-KATA S-P-400	1	MEMBRANA DE 12 X 58 X 150 S-P-400
24	08-KATA S-P-400	1	MEMBRANA DE 12 X 58 X 150 S-P-400
25	08-KATA S-P-400	1	MEMBRANA DE 12 X 58 X 150 S-P-400
26	08-KATA S-P-400	1	MEMBRANA DE 12 X 58 X 150 S-P-400
27	08-KATA S-P-400	1	MEMBRANA DE 12 X 58 X 150 S-P-400
28	08-KATA S-P-400	1	MEMBRANA DE 12 X 58 X 150 S-P-400
29	08-KATA S-P-400	1	MEMBRANA DE 12 X 58 X 150 S-P-400
30	08-KATA S-P-400	1	MEMBRANA DE 12 X 58 X 150 S-P-400
31	08-KATA S-P-400	1	MEMBRANA DE 12 X 58 X 150 S-P-400
32	08-KATA S-P-400	1	MEMBRANA DE 12 X 58 X 150 S-P-400
33	08-KATA S-P-400	1	MEMBRANA DE 12 X 58 X 150 S-P-400
34	08-KATA S-P-400	1	MEMBRANA DE 12 X 58 X 150 S-P-400
35	08-KATA S-P-400	1	MEMBRANA DE 12 X 58 X 150 S-P-400
36	08-KATA S-P-400	1	MEMBRANA DE 12 X 58 X 150 S-P-400
37	08-KATA S-P-400	1	MEMBRANA DE 12 X 58 X 150 S-P-400
38	08-KATA S-P-400	1	MEMBRANA DE 12 X 58 X 150 S-P-400
39	08-KATA S-P-400	1	MEMBRANA DE 12 X 58 X 150 S-P-400
40	08-KATA S-P-400	1	MEMBRANA DE 12 X 58 X 150 S-P-400
41	08-KATA S-P-400	1	MEMBRANA DE 12 X 58 X 150 S-P-400
42	08-KATA S-P-400	1	MEMBRANA DE 12 X 58 X 150 S-P-400
43	08-KATA S-P-400	1	MEMBRANA DE 12 X 58 X 150 S-P-400
44	08-KATA S-P-400	1	MEMBRANA DE 12 X 58 X 150 S-P-400
45	08-KATA S-P-400	1	MEMBRANA DE 12 X 58 X 150 S-P-400
46	08-KATA S-P-400	1	MEMBRANA DE 12 X 58 X 150 S-P-400
47	08-KATA S-P-400	1	MEMBRANA DE 12 X 58 X 150 S-P-400
48	08-KATA S-P-400	1	MEMBRANA DE 12 X 58 X 150 S-P-400
49	08-KATA S-P-400	1	MEMBRANA DE 12 X 58 X 150 S-P-400
50	08-KATA S-P-400	1	MEMBRANA DE 12 X 58 X 150 S-P-400

**TABLA DE TUBOS**

NO.	DESCRIPCION	QUANTIDAD	UNIDAD
1	TUBO 63.5 Ø" X 5.5 W. ESP. 11N	3	3
2	TUBO 63.5 Ø" X 5.5 W. ESP. 11N	3	3
3	TUBO 63.5 Ø" X 5.5 W. ESP. 11N	3	3
4	TUBO 63.5 Ø" X 5.5 W. ESP. 11N	3	3
5	TUBO 63.5 Ø" X 5.5 W. ESP. 11N	3	3
6	TUBO 63.5 Ø" X 5.5 W. ESP. 11N	3	3
7	TUBO 63.5 Ø" X 5.5 W. ESP. 11N	3	3
8	TUBO 63.5 Ø" X 5.5 W. ESP. 11N	3	3
9	TUBO 63.5 Ø" X 5.5 W. ESP. 11N	3	3
10	TUBO 63.5 Ø" X 5.5 W. ESP. 11N	3	3
11	TUBO 63.5 Ø" X 5.5 W. ESP. 11N	3	3
12	TUBO 63.5 Ø" X 5.5 W. ESP. 11N	3	3
13	TUBO 63.5 Ø" X 5.5 W. ESP. 11N	3	3
14	TUBO 63.5 Ø" X 5.5 W. ESP. 11N	3	3
15	TUBO 63.5 Ø" X 5.5 W. ESP. 11N	3	3
16	TUBO 63.5 Ø" X 5.5 W. ESP. 11N	3	3
17	TUBO 63.5 Ø" X 5.5 W. ESP. 11N	3	3
18	TUBO 63.5 Ø" X 5.5 W. ESP. 11N	3	3
19	TUBO 63.5 Ø" X 5.5 W. ESP. 11N	3	3
20	TUBO 63.5 Ø" X 5.5 W. ESP. 11N	3	3
21	TUBO 63.5 Ø" X 5.5 W. ESP. 11N	3	3
22	TUBO 63.5 Ø" X 5.5 W. ESP. 11N	3	3
23	TUBO 63.5 Ø" X 5.5 W. ESP. 11N	3	3
24	TUBO 63.5 Ø" X 5.5 W. ESP. 11N	3	3
25	TUBO 63.5 Ø" X 5.5 W. ESP. 11N	3	3
26	TUBO 63.5 Ø" X 5.5 W. ESP. 11N	3	3
27	TUBO 63.5 Ø" X 5.5 W. ESP. 11N	3	3
28	TUBO 63.5 Ø" X 5.5 W. ESP. 11N	3	3
29	TUBO 63.5 Ø" X 5.5 W. ESP. 11N	3	3
30	TUBO 63.5 Ø" X 5.5 W. ESP. 11N	3	3
31	TUBO 63.5 Ø" X 5.5 W. ESP. 11N	3	3
32	TUBO 63.5 Ø" X 5.5 W. ESP. 11N	3	3
33	TUBO 63.5 Ø" X 5.5 W. ESP. 11N	3	3
34	TUBO 63.5 Ø" X 5.5 W. ESP. 11N	3	3
35	TUBO 63.5 Ø" X 5.5 W. ESP. 11N	3	3
36	TUBO 63.5 Ø" X 5.5 W. ESP. 11N	3	3
37	TUBO 63.5 Ø" X 5.5 W. ESP. 11N	3	3
38	TUBO 63.5 Ø" X 5.5 W. ESP. 11N	3	3
39	TUBO 63.5 Ø" X 5.5 W. ESP. 11N	3	3
40	TUBO 63.5 Ø" X 5.5 W. ESP. 11N	3	3
41	TUBO 63.5 Ø" X 5.5 W. ESP. 11N	3	3
42	TUBO 63.5 Ø" X 5.5 W. ESP. 11N	3	3
43	TUBO 63.5 Ø" X 5.5 W. ESP. 11N	3	3
44	TUBO 63.5 Ø" X 5.5 W. ESP. 11N	3	3
45	TUBO 63.5 Ø" X 5.5 W. ESP. 11N	3	3
46	TUBO 63.5 Ø" X 5.5 W. ESP. 11N	3	3
47	TUBO 63.5 Ø" X 5.5 W. ESP. 11N	3	3
48	TUBO 63.5 Ø" X 5.5 W. ESP. 11N	3	3
49	TUBO 63.5 Ø" X 5.5 W. ESP. 11N	3	3
50	TUBO 63.5 Ø" X 5.5 W. ESP. 11N	3	3

**MODIFICACIONES**

NO.	DESCRIPCION	FECHA	REALIZADO POR
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			
41			
42			
43			
44			
45			
46			
47			
48			
49			
50			

**BABCOCK & WILCOX ESPAÑOLA, S. A.**

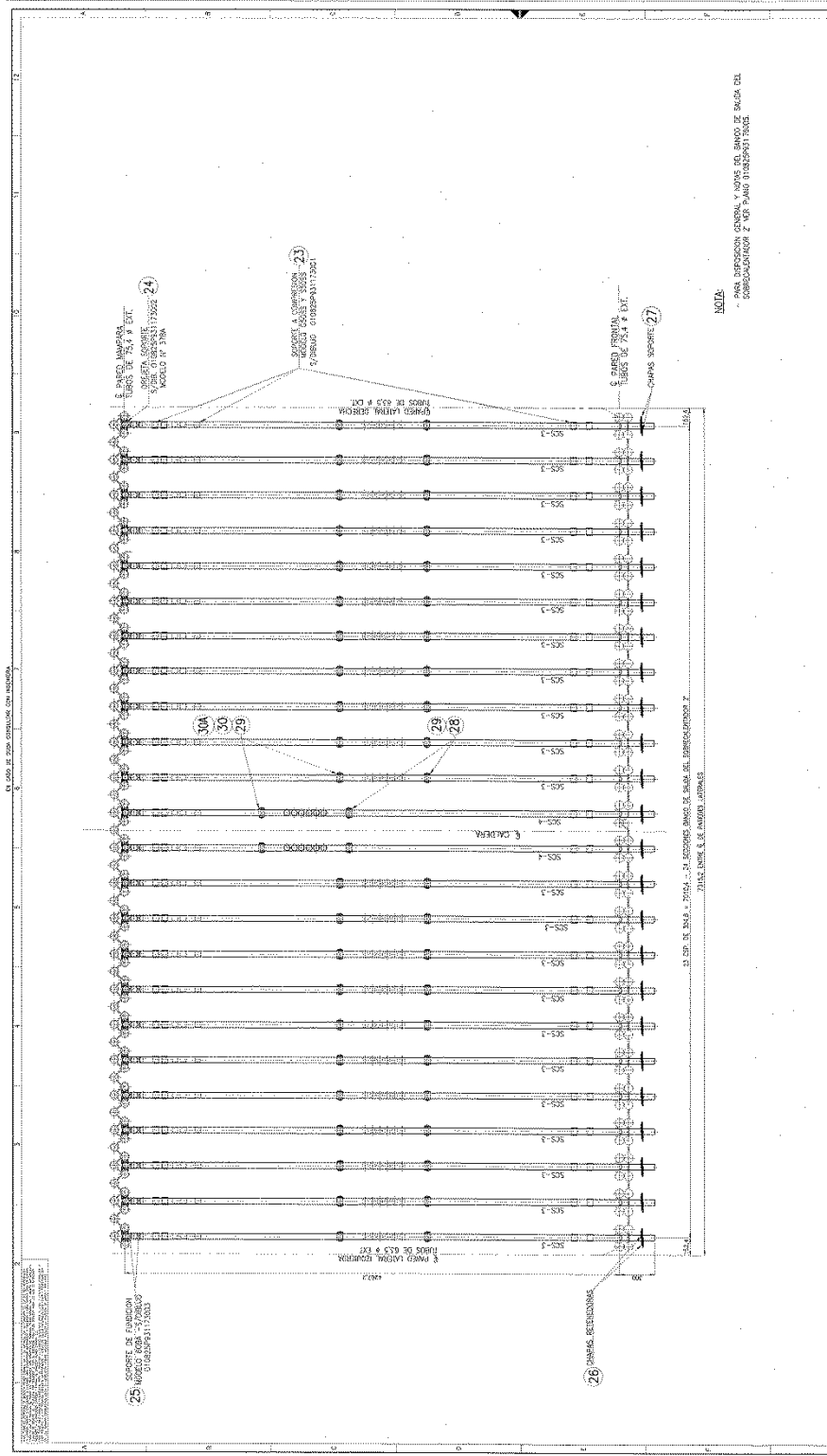
INGENIEROS

INGENIERO D. T. TRINIDAD

PANEL P.L.D. - 2

PARED LATERAL DERECHA

NO. 9311 19530 0008



PROYECTO	SECCION A-A
CLIENTE	BANCO DE SALIDA DEL SOBRECALENTADOR 2
FECHA	01/08/25
ESCALA	1:1
PROYECTISTA	BARCOCK ESPAÑA
PROYECTO	010825P93176006100
FECHA	01/08/25
ESCALA	1:1
PROYECTISTA	BARCOCK ESPAÑA

PROYECTO	SECCION A-A
CLIENTE	BANCO DE SALIDA DEL SOBRECALENTADOR 2
FECHA	01/08/25
ESCALA	1:1
PROYECTISTA	BARCOCK ESPAÑA
PROYECTO	010825P93176006100
FECHA	01/08/25
ESCALA	1:1
PROYECTISTA	BARCOCK ESPAÑA

PROYECTO	SECCION A-A
CLIENTE	BANCO DE SALIDA DEL SOBRECALENTADOR 2
FECHA	01/08/25
ESCALA	1:1
PROYECTISTA	BARCOCK ESPAÑA
PROYECTO	010825P93176006100
FECHA	01/08/25
ESCALA	1:1
PROYECTISTA	BARCOCK ESPAÑA

PROYECTO	SECCION A-A
CLIENTE	BANCO DE SALIDA DEL SOBRECALENTADOR 2
FECHA	01/08/25
ESCALA	1:1
PROYECTISTA	BARCOCK ESPAÑA
PROYECTO	010825P93176006100
FECHA	01/08/25
ESCALA	1:1
PROYECTISTA	BARCOCK ESPAÑA

PROYECTO	SECCION A-A
CLIENTE	BANCO DE SALIDA DEL SOBRECALENTADOR 2
FECHA	01/08/25
ESCALA	1:1
PROYECTISTA	BARCOCK ESPAÑA
PROYECTO	010825P93176006100
FECHA	01/08/25
ESCALA	1:1
PROYECTISTA	BARCOCK ESPAÑA









## BIBLIOGRAFÍA

- 1.- ASME 2008, Código ASME 2008, Secc. B31.1 Pressure Piping, B31.
- 2.- ASME 2006, Código ASME 2006, Secc. II “Materiales” Parte C.
- 3.- ASME 2006, Código ASME 2006, Secc. V “Pruebas No Destructivas”, Artículo 9.
- 4.- ASME 2006, Código ASME 2006, Secc. VIII “Recipientes a Presión”, División I “Lineamientos para la construcción de recipientes a presión”.
- 5.- ASME 2006, Código ASME 2006, Secc. IX “Calificación de procedimientos de soldadura y soldadura fuerte, soldadores y operarios de soldadura..
- 6.- BAUMEISTER, Theodore, Avallone Eugene A., Baumeister III Theodore., “Marks Manual del Ingeniero Mecánico”. Octava Edición Vol. II – 1984. Secc. XIII – Procesos de Taller.
- 7.- Robert D. Port, McGraw Hill, 1997, “Guía Nalco para el análisis de fallas de calderas”
- 8.- AWS 2006, Código AWS D1.1/D1.1M 2006.
- 9.- [www.electroguayas.com.ec](http://www.electroguayas.com.ec)
- 10.- BABCOCK & WILCOX ESPAÑOLA, Dossier de Calidad “Fabricación de Sobrecalentador Secundario C.T.Trinitaria, 2008.