

**DESARROLLO DE UNA METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE INTEGRIDAD Y
EXTENSIÓN DE VIDA ÚTIL DE CALDERAS PIROTUBULARES, BASADA EN INSPECCIÓN
Y MANTENIMIENTO, IMPLEMENTADA A LA CALDERA DE BIENESTAR UNIVERSITARIO
DE LA UIS**

SERGIO ANDRÉS JAIMES PINEDA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2010

**DESARROLLO DE UNA METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE INTEGRIDAD Y
EXTENSIÓN DE VIDA ÚTIL DE CALDERAS PIROTUBULARES, BASADA EN INSPECCIÓN
Y MANTENIMIENTO, IMPLEMENTADA A LA CALDERA DE BIENESTAR UNIVERSITARIO
DE LA UIS**

SERGIO ANDRÉS JAIMES PINEDA

**Proyecto de grado para optar el título de
INGENIERO MECÁNICO**

Director

RÓMULO NIÑO DELGADO

Ingeniero Mecánico

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2010

Cada logro de mi vida lo he dedicado a Dios, es él quien por su infinito amor ha hecho posible la culminación de esta etapa tan importante.

A mis padres Ángela y Joaquín por la paciencia, por el apoyo, por el amor.

A Leidi, Mayra y Laura quienes me han acompañado durante cada etapa que he decidido asumir.

A mi amado grupo de Danzas de la UIS, quien aportó experiencias maravillosas de vida, tantos momentos, tantos recuerdos.

Y por último a esa persona maravillosa que ha decidido acompañarme en el camino de la vida, quien me ha brindado las más hermosas alegrías, el motor de mi vida.

Tatiana este logro es por Ti

Sergio Andrés

AGRADECIMIENTOS

A la escuela de ingeniería mecánica por ser la fuente de mis conocimientos.

Al Ingeniero Rómulo Niño Delgado, Director del proyecto de grado por la acertada asesoría y la colaboración en la consecución del proyecto.

Al Ingeniero José Amaya jefe de la división de mantenimiento tecnológico, y la Doctora Consuelo Serrano jefe de División Comedores de Bienestar Universitario, por la oportunidad de desarrollar el proyecto en la caldera Ubicada en el edificio de Bienestar Universitario.

A todas las personas que en alguna forma contribuyeron en la realización del proyecto.

SERGIO ANDRÉS JAIMES PINEDA

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	15
1. ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO	18
1.1. TÍTULO DEL PROYECTO	18
1.2. OBJETIVOS	18
1.2.1. Objetivo General.	18
1.2.2. Objetivos Específicos.....	18
1.3. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	19
1.4. JUSTIFICACIÓN	21
1.5. ABREVIATURAS Y DEFINICIONES.....	23
2. CALDERAS.....	25
2.1. CLASIFICACIÓN DE LAS CALDERAS	26
2.1.1. Clasificación según su aplicación.	26
2.1.2. Clasificación según su diseño.	27
2.2. CONCEPTOS ELEMENTALES DE LAS CALDERAS.....	30
2.2.1. Combustión	30
2.2.2. Poder Calorífico	34
2.2.3. Residuos de la Combustión	34
2.2.4. Densidad específica o relativa.....	35
2.2.5. Viscosidad	35
2.2.6. Punto de Inflamación.....	36
3. METODOLOGÍA PARA EVALUACIÓN DE CALDERAS	37
3.1. GENERALIDADES	37
3.2. EVALUACIÓN DE INTEGRIDAD	38
3.2.1. Condiciones de Aplicación.....	40

3.2.2.	Etapas de Evaluación de Integridad	41
3.3.	TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO	43
3.3.1.	Mantenimiento Productivo Total (PPM).....	43
3.3.2.	Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM).....	44
3.3.3.	Mantenimiento Basado en Riesgo	45
3.4.	FASES DE LA METODOLOGÍA	46
4.	DIAGNÓSTICO DE LA CALDERA	48
4.1.	PARÁMETROS OPERACIONALES.....	48
4.1.1.	Medición de Variables	48
4.1.2.	Información General	49
4.1.3.	Información de Detalle	50
4.2.	INSPECCIÓN BASADA EN RIESGOS (RBI)	51
4.2.1.	Beneficios de la inspección basada en riesgos	53
4.2.2.	Valoración del Riesgo	58
4.2.3.	Análisis de Probabilidad de Falla	60
4.2.3.1.	Determinación de la Probabilidad de Falla	62
4.2.3.2.	Determinación de la susceptibilidad y velocidad del deterioro.....	64
4.2.3.3.	Determinación del modo de falla.....	65
4.2.3.4.	Determinación de eficiencia último programa inspección.....	66
4.2.3.5.	Cálculo de la probabilidad de falla	67
4.2.4.	Análisis de Consecuencias	67
4.2.4.1.	Pérdida de Integridad	68
4.2.4.2.	Análisis de consecuencias cualitativo.....	69
4.2.4.3.	Análisis de consecuencias cuantitativo	69
4.2.4.4.	Unidades para un análisis de consecuencias.....	70
4.2.4.5.	Categoría del efecto de la consecuencia.....	73
4.2.5.	RBI Cualitativo	76
4.2.5.1.	Categoría de la Probabilidad de Falla.....	78
4.2.5.2.	Categoría de la Consecuencia	80
4.2.6.	RBI Cuantitativo	85
4.2.7.	RBI Semicuantitativo	90
4.3.	TÉCNICAS DE INSPECCIÓN	93

5. PROGRAMAS DE TRABAJO.....	99
5.1. PLAN DE INSPECCIONES	99
5.2. PLAN DE MANTENIMIENTO	112
5.3. EVALUACIÓN PROGRAMAS DE INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO	114
6. METODOLOGÍA PARA EVALUACIÓN DE CALDERAS	116
6.1. DIAGNÓSTICO	117
6.1.1. Descripción de la Unidad	117
6.1.2. Identificación de Riesgos	121
6.1.3. Análisis Cualitativo de Riesgos.....	124
6.2. PROGRAMAS DE INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO.....	131
6.3. RESULTADO DE IMPLEMENTACIÓN	135
7. CUMPLIMIENTO DEL PROYECTO	137
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	139
BIBLIOGRAFÍA	142
ANEXOS.....	144

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 1: CALDERA PIROTUBULAR MARCA CONTINENTAL	28
FIGURA 2: CALDERA ACUOTUBULAR MARCA BABCOCK & WILCOX	29
FIGURA 3: ESTRUCTURA GENERAL METODOLOGÍA	38
FIGURA 4: FASES DE LA METODOLOGÍA.....	46
FIGURA 5: ESQUEMA DE RBI (INSPECCIÓN BASADA EN RIESGO).....	55
FIGURA 6: PROCESO DE VALORACIÓN DE RIESGO	59
FIGURA 7: SERIE CONTINUA DE VALORACIÓN DE RBI (INSPECCIÓN BASADA EN RIESGO)	61
FIGURA 8: DESCRIPCIÓN DEL ACERCAMIENTO CUALITATIVO DE RBI.....	77
FIGURA 9: MATRIZ DE RIESGOS RBI	85
FIGURA 10: PROCESO PARA DETERMINAR EL TIPO DE ESCAPE EN UNA FUGA	88
FIGURA 11: ANÁLISIS RBI SEMICUANTITATIVO.....	90
FIGURA 12: DESCRIPCIÓN ANÁLISIS DE PROBABILIDAD DE FALLA.....	91
FIGURA 13: ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS, RBI SEMICUANTITATIVO.....	92
FIGURA 14: DESCRIPCIÓN DEL PLAN DE INSPECCIÓN	98
FIGURA 15: MATRIZ DE RIESGO CALDERA UIS.....	130

LISTA DE TABLAS

	Pág.
TABLA 1. TEMPERATURA DE OPERACIÓN PARA DEFINIR MOMENTO DE EVALUACIÓN DE INTEGRIDAD	40
TABLA 2. CATEGORÍAS EN PROBABILIDAD DE FALLA DE RBI	80
TABLA 3. CATEGORÍA DE CONSECUENCIA DE DAÑO RBI.....	82
TABLA 4. CATEGORÍA DE CONSECUENCIA PARA LA SALUD RBI.....	84
TABLA 5. CLASIFICACIÓN DE AGUJEROS DE FUGAS DE ACUERDO AL TAMAÑO, ANÁLISIS RBI.....	87
TABLA 6. DETERMINACIÓN DE LA FASE FINAL DEL FLUIDO, LUEGO DE FUGA.....	89
TABLA 7. TIPO Y CARACTERÍSTICAS DE DAÑO.....	93
TABLA 8. EFICIENCIA DE LAS TÉCNICAS DE INSPECCIÓN PARA VARIOS TIPOS DE DAÑOS.....	95
TABLA 9. ESPECIFICACIONES CALDERA CONTINENTAL – UIS.....	118
TABLA 10. RIESGOS EN CALDERAS PIROTUBULARES	123
TABLA 11. PROBABILIDAD DE FALLA CALDERA UIS.....	125
TABLA 12. CATEGORÍA DE CONSECUENCIA CALDERA UIS	129
TABLA 13. CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	137

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO 1. Clasificación de los Mecanismos de Daños por Categoría	144
ANEXO 2. Programa de Inspección de Caldera Piro tubular.....	148
ANEXO 3. Programa de Mantenimiento Caldera Piro tubular	156
ANEXO 4. Orden de Trabajo Caldera Piro tubular	164
ANEXO 5. Guía de Análisis de Falla – Caldera Piro tubular	165
ANEXO 6. Formato Reporte de Accidente en Caldera Piro tubular.....	174
ANEXO 7. Formato de Investigación de Accidente en Caldera	175
ANEXO 8. Programa de Inspección caldera marca continental de Bienestar Universitario de la UIS.....	177
ANEXO 9. Formato de investigación de accidentes, caldera piro tubular marca continental Bienestar Universitario UIS.	185
ANEXO 10. Formato para orden de trabajo, caldera piro tubular marca continental Bienestar Universitario UIS.....	186
ANEXO 11. Formato registro de accidentes, caldera piro tubular marca continental Bienestar Universitario UIS.....	187
ANEXO 12. Formato hoja de vida, caldera piro tubular marca continental Bienestar Universitario UIS.	188

ANEXO 13. Formato seguimiento condiciones de operación.	189
ANEXO 14. Carta Aceptación Propuesta División Mantenimiento Tecnológico UIS	192
ANEXO 15. Único Registro Control de Mantenimiento Caldera UIS	193
ANEXO 16. Carta Aceptación Entregables Metodología.	194

RESUMEN

TÍTULO

DESARROLLO DE UNA METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE INTEGRIDAD Y EXTENSIÓN DE VIDA ÚTIL DE CALDERAS PIROTUBULARES, BASADA EN INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO, IMPLEMENTADA A LA CALDERA DE BIENESTAR UNIVERSITARIO DE LA UIS.*

AUTOR

JAIMES PINEDA, Sergio Andrés**

PALABRAS CLAVES

INTEGRIDAD, MANTENIMIENTO, CALDERA, INSPECCIÓN, DIAGNÓSTICO, IMPLEMENTACIÓN, CALDERA PIROTUBULAR, RIESGOS.

CONTENIDO

El presente documento contiene el desarrollo de una metodología para evaluar la integridad y extender la vida útil de calderas pirotubulares, implementada en la Caldera de la Universidad Industrial de Santander - UIS que opera en la División de Bienestar Universitario.

Debido a la falta de una legislación nacional para instalación, operación y mantenimiento de calderas pirotubulares en Colombia, se desarrolla este proyecto el cual permite que las pequeñas y medianas empresas cuenten y apliquen un modelo de evaluación de integridad que apoye el aseguramiento de la operación y la extensión de vida útil de estos equipos. La metodología se desarrolla a través de tres (3) fases ó módulos: Diagnóstico, Programas de Acción y Evaluación, los cuales son de fácil entendimiento, con actividades que se encuentran soportadas con normas internacionales y adicionalmente contemplan los requerimientos que el gobierno Colombiano ha estudiado bajo la probabilidad de decretar como regulación para el funcionamiento de las Calderas.

El resultado es una estrategia para la valoración de la integridad, de calderas pirotubulares, determinando su condición actual y estableciendo programas de inspección, operación y mantenimiento que permitirá la reducción de los niveles de riesgo, garantizando la operatividad de la unidad. Se contemplan acciones de seguimiento a las inspecciones realizadas, históricos de fallas, factores de riesgo, frecuencias de mantenimiento y acciones de corrección.

Finalmente se presenta la implementación de la metodología propuesta en la caldera de Bienestar Universitario de la UIS, con la documentación generada respectiva para llevar seguimiento y darle continuidad al proceso dinámico de inspección y mantenimiento.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director Ing. Rómulo Niño Delgado.

ABSTRACT

TITLE:

DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY TO EVALUATE THE INTEGRITY AND LIFE EXTENSION OF FIRETUBE'S BOILERS, BASED ON THE INSPECTION AND MAINTENANCE, IMPLEMENTED INTO THE UNIVERSITY WELFARE'S* BOILER AT THE UIS*.

AUTHOR

JAIMES PINEDA, Sergio Andrés**

KEY WORDS

INTEGRITY, MAINTENANCE, BOILER, INSPECTION, DIAGNOSTIC, IMPLEMENTATION, FIRETUBE'S BOILER, RISKS.

CONTENT

This document contains the development of a methodology to evaluate the integrity and extend the life of firetube's boiler, implemented in the Boiler at the Universidad Industrial de Santander - UIS operating at the University's Welfare Division.

Due to the lack of national legislation for installation, operation and maintenance of firetube in Colombia, this project is developed to allow small and medium businesses to have and implement an evaluation model of integrity that supports the assurance of the operation and the extension of life of these teams. The methodology was developed through three (3) phases or modules: Diagnosis, Evaluation and Action Programs, which are easy to understand, with activities that are supported with international standards and additional requirements, which has been studied by the Colombian government under the probability of enacting such regulations for the operation of boilers.

The result is a strategy for assessing the integrity of firetube, determining their current status and establishing inspection schedules, operation and maintenance which would reduce risk levels, ensuring the operation of the unit. Follow-up actions are envisaged to inspections, historical failure, risk factors, frequency of maintenance and corrective actions.

Finally we present the implementation of the methodology proposed in the boiler of the University's Welfare Division, with the respective documentation generated to keep track and give continuity to the dynamic process of inspection and maintenance.

* Degree Work

** Faculty of Physics and Mechanical Engineering. School of Mechanical Engineering. Director Ing. Romulo Niño Delgado.

INTRODUCCIÓN

En los tiempos actuales se evidencia una gran preocupación en el sector industrial, a nivel mundial, por mantener la integridad de su infraestructura, equipos e instalaciones. Este tema ha tomado alta importancia por las graves consecuencias que pueden llegar a generar fallas en los sistemas (y que históricamente se han presentado en diversas empresas en todo el mundo); contemplando pérdidas económicas por escapes de producto y paradas en los procesos, perjuicio a trabajadores y personas externas, daños ambientales, impactos a la sociedad, pérdida de imagen institucional, entre otras.

Esta situación ha llevado a visualizar el análisis de Integridad y la extensión de vida útil de instalaciones industriales, involucrando mantenimientos y programas de trabajo, como un proceso de integración, recuperación socio-económica, preservación de los medios productivos y mejoramiento de las condiciones locativas y personales.

No obstante, a pesar que esta tendencia de “Evaluaciones de Integridad” se está implementando en las grandes industrias, existen muchas empresas e instituciones colombianas que no contemplan los peligros potenciales que contienen los equipos con los cuales operan, como ocurre con las calderas de producción de vapor. Las calderas son recipientes cerrados con quemadores de

gas o electricidad que calientan agua u otros líquidos para generar vapor. El vapor está a presión y sobrecalentado, usándose para generar electricidad, para calefacción o para otros propósitos industriales. Aunque las calderas normalmente están equipadas con una válvula de alivio de presión, si la caldera no puede resistir la presión, la energía que contiene el vapor se libera instantáneamente ocasionando una posible explosión.

Esta condición de riesgo exige que los operarios conozcan bien el manual de operación y las instrucciones del fabricante de la caldera, pero con regularidad esta práctica no es realizada. Los operadores de calderas deberían inspeccionar las calderas con frecuencia en búsqueda de fugas, combustión correcta, funcionamiento de los dispositivos de seguridad e indicadores, así como otras funciones. Los trabajadores deberían inspeccionar esas áreas periódicamente para asegurarse de que los materiales no estén dañados, que no se estén descascarando y que no estén deteriorados, debe reportarse la existencia de materiales dañados y deben repararse o eliminarse así como indicios de superficies rajadas, prominencias, corrosión u otras deformidades. Los registros detallados de la operación y el mantenimiento de la caldera pueden ayudar a asegurar su seguridad.

La propuesta de trabajo de grado que se presenta, procura proporcionar un aporte de ingeniería al proceso de extensión de vida útil de calderas de vapor tipo piro-tubular, a través de una metodología para evaluar la integridad de estos dispositivos industriales y garantizar el mencionado proceso. Pretende aplicarse a

la caldera tipo pirotubular marca Continental, ubicada en la División de Bienestar Universitario de la UIS, sección comedores.

Por lo general las pequeñas y medianas empresas tiene recursos limitados y estos son usados para compra de equipos o para prestar sus servicios; la Universidad Industrial de Santander no es ajena a esta situación, pues aunque cuenta con una división de mantenimiento tecnológico no destina los recursos suficientes para realizar estas tareas con la rigurosidad que así se solicita; tiene la posibilidad de contar con personal idóneo para realizar las labores de mantenimiento y reparación, pero su carga laboral no permite que sea suficiente para cubrir todas las necesidades de la Universidad.

El propósito de implementar esta metodología es mantener la integridad de calderas pirotubulares después de que han sido puestas en servicio, previendo las reglas y guías para la inspección, alteración y rediseño de la presión, para permitir que estas unidades sigan siendo utilizadas con seguridad.

1. ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

1.1. TÍTULO DEL PROYECTO

Desarrollo de una metodología para la evaluación de integridad y extensión de vida útil de Calderas Piro-tubulares, basada en inspección y mantenimiento, implementada a la caldera de Bienestar Universitario de la UIS.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo General.

Contribuir con la Misión de la Universidad Industrial de Santander para brindar apoyo a la industria regional para liderar procesos de cambio, optimización y mejora continua de sus operaciones productivas, al desarrollar una metodología para la evaluación de integridad y extensión de vida útil de Calderas Piro-tubulares, basada en inspección y mantenimiento, e implementarla a la caldera marca Continental de la UIS que opera en la División de Bienestar Universitario.

1.2.2. Objetivos Específicos.

- Diseñar una metodología para evaluación de integridad de un dispositivo industrial, como la Caldera Piro-tubular, a través de módulos de

diagnóstico, inspección y mantenimiento, que favorezcan la extensión de su vida útil.

- Documentar planes de Inspección, Seguridad y Registro de Fallas de Calderas Piro-tubulares, a través de manuales, procedimientos y formatos que garanticen el aseguramiento de la información y el seguimiento a las actividades desarrolladas.
- Implementar la metodología diseñada, con los planes correspondientes, en la Caldera Piro-tubular de la Universidad Industrial de Santander localizada en Bienestar Universitario, trabajando de la mano con la División de Mantenimiento Tecnológico.

1.3. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Dentro del campo de la transformación de energía se encuentra uno de los procesos más importantes y complejos, el tratamiento de la energía térmica. En este proceso se hace indispensable el uso de dispositivos que permitan la obtención de la materia prima, en este caso vapor a altas presiones y temperaturas, mayores que las condiciones atmosféricas. Dichos dispositivos conforman las llamadas plantas de generación de vapor en las que dentro de sus principales componentes están las calderas, que permiten la elevación de la temperatura y la presión del agua, hasta convertirla en vapor sobrecalentado el cual es utilizado en distintos procesos industriales.

El proceso de obtención de vapor a través de la caldera pirotubular, genera exposición a riesgos de diferente naturaleza con consecuencias de alto impacto para las empresas, desde los operadores, medio ambiente y bienes materiales. Algunos de estos riesgos se mencionan a continuación:

- **Riesgos Físicos:** Ruidos, radiaciones, altas temperaturas, vibraciones, presiones anormales que pueden aparecer debido al mal manejo de la caldera o a la falta de inspecciones y rutinas de mantenimiento.
- **Riesgos Químicos:** Este tipo de riesgos se presentan en el interior de las calderas por falta de mantenimiento y carencia de un plan de tratamiento de agua que circula por dentro de ella, dentro de este tipo se encuentra el mal manejo de los polvos orgánicos e inorgánicos, manejo de humos, vapores, líquidos y gases.
- **Riesgos Biológicos:** Se categorizan los posibles riesgos que puede sufrir el operario dentro del área de trabajo, debido a la falta de higiene del área, dentro de ella se encuentran virus, bacterias, parásitos, hongos entre otros.
- **Riesgos de Seguridad:** Se genera en las instalaciones internas y externas de las calderas, pueden ser de diseño, fabricación, montaje, puesta en servicio, operación, mantenimiento mecánico y eléctrico.

- **Riesgos en Condiciones Locativas:** Se generan por efectos externos a las calderas, estas pueden ser orden, aseo, disposición de residuos, almacenamiento, equipos, iluminación, ventilación, drenajes, plataformas, estructuras, cimentaciones.
- **Riesgos por Fallas Metalúrgicas:** Son debidos a sobrecalentamientos a corto y largo plazo, corrosión, fragilidad, fatiga térmica, erosión, tensión bajo presión.

Los accidentes inducidos por estos riesgos, en la operación de calderas, tienen diferentes causas como la inexistencia de manuales de operación, falta de capacitación de personal, prácticas inadecuadas, ausencia de sistemas de comunicación, fallas en los programas de seguridad industrial, fallas en los chequeos de rutinas en dispositivos de control, ausencia de programas de mantenimiento, entre otras.

Cualquiera de los riesgos mencionados anteriormente, puede resultar fatal para los intereses de la empresa, pues cualquier dispositivo mal manipulado resulta peligroso y atenta contra la integridad de las personas.

1.4. JUSTIFICACIÓN

Empresas comerciales e industriales en Colombia disponen de calderas pirotubulares para obtener energía térmica, que requieren en diferentes procesos

como secado, calentamiento o procesos mecánicos de baja potencia, a través de la producción de vapor. Sin embargo, este proceso de transformación de energía realizado por las calderas no cuenta con la atención ni las medidas necesarias que garanticen el óptimo funcionamiento de éste equipo y de su operación.

Esta situación de descuido frente a las calderas, como en cualquier otro equipo industrial, representa implicaciones en aumentos en costos operacionales, disponibilidad del equipo que comprometa actividades de producción y el peligro de un accidente a causa de los factores de riesgos existentes.

En este marco, se quiere recalcar la importancia de evaluar la integridad de cualquier dispositivo industrial, la caldera pirotubular en este caso, diagnosticando el estado del equipo, para obtener la información necesaria que permita planear y pronosticar su futuro, de manera que pueda extender su vida útil y operar en condiciones de eficiencia, competitividad y seguridad.

Actualmente no existe en nuestro país una regulación para el funcionamiento de Calderas Industriales, sin embargo un proyecto de evaluación de integridad puede plantearse con el estudio de buenas prácticas de Ingeniería y la normalización internacional, aplicándolas basadas en la inspección, operación y mantenimiento de este tipo de calderas.

1.5. ABREVIATURAS Y DEFINICIONES

- **API:** Instituto Americano del Petróleo (American Petroleum Institute) es la principal asociación comercial de los EE UU de la industrial del petróleo y el gas natural.
- **ASME:** Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (American Society of Mechanical Engineers).
- **CALDERA:** Dispositivo o equipo diseñado para generar vapor saturado a través de una transferencia de calor a presión constante, en la cual el fluido originalmente en estado líquido se calienta y cambia de estado.
- **CALDERA PIROTUBULAR:** Tipo de caldera en la cual el estado líquido del fluido se encuentra en un recipiente, y es atravesado por tubos por los cuales circula gases a alta temperatura producto de un proceso de combustión.
- **CÓDIGO ASME:** Códigos y normas generadas por la ASME aplicables en todo el mundo; de diseño, construcción, inspección y pruebas para equipos, entre otros, calderas y recipientes a presión.
- **INSPECCIÓN:** Actividad por la que se examinan diseños, productos, instalaciones, procesos productivos y servicios para verificar el cumplimiento de los requisitos que le sean de aplicación*.
- **INTEGRIDAD:** Condición ó estado de un proceso o un equipo que indica su plena capacidad de operar en forma segura (confiabilidad), bajo condiciones específicas y tolerancias del fabricante. Cubre la vida de las

* Definición de Ley 21/1992, de 16 de julio, de Industria. España.

instalaciones desde la fase de diseño, fabricación, instalación ó construcción, operación y mantenimiento hasta su desmantelamiento para garantizar la protección del personal, la comunidad, el medio ambiente y las instalaciones.

- **MANTENIMIENTO:** Un conjunto de técnicas y sistemas necesarias para asegurar el buen funcionamiento de las instalaciones. Es un órgano de estudio que busca lo más conveniente para las máquinas, tratando de alargar su vida de forma rentable.
- **NORMAS API:** Estándares desarrollados para la industria del petróleo y gas a través de uno de los Principales Programas de la API. Esta organización mantiene más de 500 normas y prácticas recomendadas, muchas de ellas incorporadas en regulaciones estatales y federales, y así mismo están siendo adoptadas por la (ISO) Organización Internacional para la Estandarización.†
- **RBI:** Inspección Basada en Riesgos (Risk Based Inspection)
- **UIS:** Universidad Industrial de Santander.

† Internet, Página Oficial de API, <http://www.api.org/Standards/index.cfm>

2. CALDERAS

Las calderas son recipientes cerrados, sometidos a presión, que contienen fluidos de trabajo, generalmente agua que se evapora en forma continua gracias a la aplicación de calor por medio de gases.

De acuerdo con ASME (American Society of Mechanical Engineers), una caldera de alta presión de vapor es aquella que genera vapor a una presión de 150 psig. Por debajo de esta presión son llamadas calderas de baja presión de vapor. Una caldera de presión supercrítica opera a una presión cercana a 3206,2 psig.

Una caldera está conformada por subsistemas que permiten, mediante el intercambio térmico entre una fuente de alto contenido calórico y el agua, producir vapor con una calidad determinada por el proceso a servir. La fuente de calor puede ser un hidrocarburo sólido, líquido o gaseoso, gases residuales producto de la combustión u otro fluido, o los gases residuales con alto contenido calórico de otros procesos (cogeneración).

2.1. CLASIFICACIÓN DE LAS CALDERAS

2.1.1. Clasificación según su aplicación.

- **Calderas para usos domésticos:** Se utilizan para la calefacción doméstica, bien individual, o comunitaria de pequeño tamaño. Son de baja potencia.
- **Calderas de generación de vapor en termoeléctricas:** Se utilizan para la generación de vapor sobrecalentado a altas presiones, como fluido motriz de grupos turboalternadores, para generar energía eléctrica. Manejan grandes potencias.
- **Calderas para plantas de cogeneración:** Utilizan los gases calientes del escape de turbinas de gas o de motores de combustión, cuyo calor es cedido para transmitir energía térmica que se transporta hasta un consumidor. Son llamadas calderas de recuperación.
- **Calderas para aplicaciones marinas:** Se instalan en los barcos como generadores de su vapor motriz.
- **Calderas para transformación de energía en plantas industriales:** Transforman energía para consumo propio de una planta. Su instalación es estática y sus aplicaciones específicas dependen de los requerimientos del sistema, estos pueden ser: generación de vapor para aplicaciones directas

de la planta en procesos de producción, generación de agua sobrecalentada para calefacción industrial entre otros.

2.1.2. Clasificación según su diseño.

- **Calderas pirotubulares:** El calor es transferido desde los gases de combustión que fluyen por el interior de los tubos al agua que los rodea. En las calderas de tubos de humo se utilizan varios tipos de hogares. Algunos son tubos cilíndricos largos, mientras que otros tienen una configuración de fogón de caja, que les permite quemar combustibles sólidos. En la mayoría de los casos, la caldera de tubos de humo incluye un casco para contener el agua así como un espacio para el vapor. Dentro de este casco se encuentra los bancos de tubos y los tubos que forman parte del contenido del recipiente de presión, el hogar o caja de fuego proporciona el espacio para el proceso de combustión de la fuente de calor.

En este tipo de calderas la presión es relativamente baja, se usan en la producción de vapor saturado. El uso de este tipo de calderas está restringido a industrias donde la demanda de vapor es relativamente baja como hospitales, hoteles, lavanderías etc.

FIGURA 1: Caldera Pirotubular Marca Continental



Fuente: Internet, www.calderascontinental.com

Las altas presiones son una de las mayores limitantes de estas calderas. Aunque su gran capacidad de almacenamiento de agua le da habilidad para amortiguar el efecto de amplias y repentinas variaciones de carga, este mismo detalle hace que el tiempo requerido para llegar a la presión de operación desde un arranque en frío sea considerablemente más largo que para una caldera acuotubular.

- **Calderas acuotubulares:** En este tipo de calderas los productos de la combustión están en contacto con la superficie exterior de los tubos que contienen agua. La tubería va intercomunicada a colectores comunes (cabezales) de agua y a una salida de vapor.

Existe una gran variedad de formas y tamaños proporcionando una gran ventaja las hace más ventajosa para ser instaladas en cualquier tipo de espacio.

FIGURA 2: Caldera Acuotubular Marca Babcock & Wilcox



Fuente: Internet, <http://www.babcock.com>

Una caldera de tubos de agua de tipo cabezal de cajón, los tubos de agua están conectados a unos colectores rectangulares que se encuentran distribuidos de tal forma que la mezcla de agua circulante y de vapor se eleve hacia un colector de vapor. Los cabezales de caja se encuentran, por lo general, en cualquier extremo de los bancos de tubos y los productos de la combustión pasan entre los cabezales y alrededor de los bancos de tubos.

Algunas calderas son del tipo colector de vapor largo, es decir, cuando se observa desde el frente de la caldera; el colector de vapor abarca toda la longitud de la caldera el resultado es una caldera de colector de vapor transversal. Cuando se observa desde el frente de la unidad, los colectores de vapor están instalados de manera perpendicular a la carga lineal central o transversalmente a la caldera.

Están diseñadas para soportar altas presiones de trabajo y altas temperaturas. Son usadas especialmente en centrales termoeléctricas y en general donde se requieran altas ratas de vapor a grandes presiones.

2.2. CONCEPTOS ELEMENTALES DE LAS CALDERAS

Es necesario entender el funcionamiento de la caldera a partir de una base teórica que brinde conceptos y procedimientos de operación, los cuales se convertirán en las herramientas que permitan la comprensión del problema a estudiar, así como la completa utilidad del equipo, de forma tal que los análisis que se pretenden realizar cuenten con todas las variables y parámetros involucrados.

2.2.1. Combustión

La fundamentación esencial para la operación de la caldera, se basa principalmente en la combustión, fenómeno que debe tener en cuenta las características del combustible para conocer sus incidencias en la reacción.

La combustión es el conjunto de procesos físico-químicos en los que se libera controladamente parte de la energía interna del combustible. Una fracción de esa energía se va a manifestar en forma de calor y es la que interesa. La reacción de un elemento químico con el oxígeno se llama oxidación. La combustión no es más que una reacción de oxidación, en la que normalmente se va a liberar una gran cantidad de calor.

El comburente habitualmente empleado en la combustión es el aire (21% Oxígeno, 79% Nitrógeno).

La reacción de combustión es una reacción de oxidación con la peculiaridad de que se realiza muy rápidamente, presentándose de forma exotérmica; esta reacción se origina entre los elementos combustibles y el oxígeno del comburente. Para que un combustible permita la combustión, es necesario que alcance su temperatura de ignición. Se define el punto de ignición de un combustible como la temperatura a la cual, una vez iniciada la llama, ya no se extingue. Esta temperatura es de 20 a 60°C más alta que la temperatura de inflamación.

Para una reacción de oxidación se tiene:



En una reacción de combustión, se pueden distinguir tres fases:

- a. Fase de pre-reacción: Los compuestos de los combustibles se descomponen permitiendo la formación de fracciones intermedias inestables y muy activas, para que de este modo el carbono y el hidrógeno puedan reaccionar con el oxígeno.

- b. Fase de oxidación: Se produce la combinación entre los elementos y el oxígeno. Es una fase altamente exotérmica permitiendo la propagación de la llama.
- c. Fase de finalización: Se constituyen los compuestos estables. El conjunto de estos compuestos se denomina gases de combustión.

Durante el proceso de combustión se obtienen serie de reacciones, que se pueden clasificar según el modo en que transcurran:

- Combustión Incompleta o Imperfecta: se presenta cuando el Oxígeno es insuficiente para que se produzca la oxidación total del carbono. Esto quiere decir que no todo el carbono se va a transformar en CO_2 y aparecerá como producto de combustión CO . Aparecen entonces productos inquemados, los que también se pueden producir por defecto en el quemador. Los inquemados se definen como la materia combustible que ha quedado sin quemar o parcialmente quemada, pueden ser de dos clases:
 - I. Sólidos: carbono (hollín). Se manifiesta en los humos de combustión, pues estos presentan un color muy oscuro.
 - II. Gaseosos: CO , H_2 . Cuando se presentan estos productos existe una señal de que no se ha aprovechado el combustible de forma completa, por lo que la combustión que se está realizando no es eficiente.

- **Combustión Completa:** Para que se produzca una combustión completa se hace necesario proporcionar un exceso de aire, es decir, de oxígeno. El exceso se realiza sobre la cantidad estequiométricamente necesaria para que todos los productos combustibles sufran la oxidación. En este caso no se van a producir inquemados. En la práctica es difícil conseguir una combustión completa, razón por la cual se hace necesario suministrar un exceso de aire, este se define como la cantidad de aire necesaria por encima de la cantidad teórica que hay que proporcionar para que se realice la combustión completa.

En general, los productos de combustión se llaman humos, éstos se definen como la masa de compuestos que resultan de un proceso de combustión; en su mayoría se forman de óxidos de los elementos combustibles y los elementos del combustible que no sufren reacción, además del Nitrógeno presente en el aire que no reacciona. Otros elementos que pueden presentarse en los humos son pequeñas fracciones de elementos en suspensión, como carbón u hollín. Los humos pueden clasificarse en secos (sin agua) o húmedos (con agua).

Las características de un combustible son las que determinan la viabilidad de emplear la sustancia en un momento determinado, una de las propiedades que más interesa de un combustible es su poder calorífico.

2.2.2. Poder Calorífico

Es la cantidad de calor generado al quemar una unidad de masa del material considerado como combustible. El poder calorífico está relacionado con la naturaleza del producto. Existen dos clases de poder calorífico: el poder calorífico inferior (PCI) y el poder calorífico superior (PCS).

- **Poder Calorífico Superior:** Es el poder calorífico total. Es la cantidad de calor desprendida en la combustión de un Kg de combustible cuando se incluye el calor de condensación del agua que se desprende en la combustión.
- **Poder Calorífico Inferior:** Es el poder calorífico neto, desprendido en el proceso de combustión de 1 Kg de combustible cuando el vapor de agua originado en la combustión no condensa.

La temperatura de combustión va a aumentar con el poder calorífico y con la cantidad de residuos y productos que se generen en el proceso.

2.2.3. Residuos de la Combustión

Representa los productos que no son quemados durante el proceso. Existen de dos clases según la fase en la cual se encuentren:

- **Gaseosos:** se encuentran con los humos o gases que se desprenden de los combustibles.

- Sólidos: representados en cenizas y escorias, formados por la parte orgánica de un combustible. Son dañinos tanto por su naturaleza como por su cantidad.

2.2.4. Densidad específica o relativa

Los combustibles se comercializan por volumen, por lo que es importante conocer la densidad que presentan a temperatura ambiente. La densidad específica se define como:

$$\delta_e = \frac{\text{Densidad absoluta del producto}}{\text{Densidad del Agua Líquida}}$$

La escala más utilizada es la escala en grados API (a 15°C).

La densidad específica o relativa de los combustibles líquidos varían, pero los más ligeros serán los que tengan menor contenido en átomos de carbono. De este modo, las gasolinas serán las que tengan menor densidad específica, mientras que los fuel-óil serán los que mayor densidad específica presenten.

2.2.5. Viscosidad

Mide la resistencia que encuentran las moléculas de un fluido para deslizarse unas entre otras, es una especie de fricción interna que posee el fluido. Puede ser absoluta o dinámica, o bien relativa o cinemática. La fluidez es la relación inversa

de la viscosidad, es por eso que la medida de la viscosidad es importante pues va a dar una idea de la fluidez del combustible; la viscosidad es muy importante en el caso del fuel-óil, ya que éstos se clasifican siguiendo criterios de viscosidad a una determinada temperatura.

2.2.6. Punto de Inflamación

Representa la temperatura mínima a la cual los vapores producidos en un proceso de calentamiento, a una cierta velocidad de una muestra de combustible se inflaman cuando se ponen en contacto con una llama piloto en una forma determinada, haciendo referencia a un combustible líquido. El punto de inflamación da una idea de la cantidad de compuestos volátiles o muy volátiles que presenta un combustible.

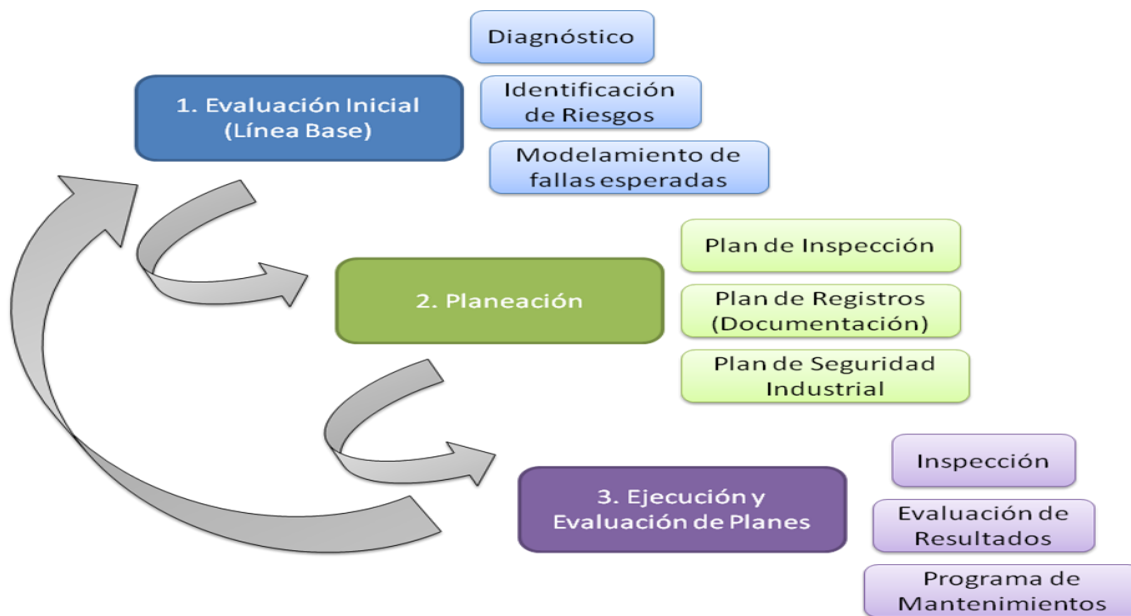
3. METODOLOGÍA PARA EVALUACIÓN DE CALDERAS

3.1. GENERALIDADES

En este proyecto se propone la estructura de una metodología para evaluar la integridad de una Caldera Pirotubular, de manera que pueda extenderse su vida útil, basada en inspección y mantenimiento, que se convierta en un instrumento alternativo de prevención y control del funcionamiento de estos equipos en las diferentes instituciones, empresas o lugares que requieran su operación.

Esta metodología se estructura a partir de tres (3) lineamientos generales, para realizar una sencilla implementación, y se convierta en una herramienta de evaluación, a partir de una inspección sistemática, y la generación de los planes de acción para el adecuado mantenimiento de una Caldera. La metodología debe considerar una estructura cíclica, de forma que se garantice un aseguramiento permanente en el tiempo, además que permita el mejoramiento continuo visualizado como un ciclo de PHVA (Planear, Hacer, Verificar y Actuar) aplicado e implícito en las actividades que se desarrollarán. Se ilustra en un esquema a continuación, figura 3, los conceptos generales considerados.

FIGURA 3: Estructura General Metodología



Fuente: Propuesta del Autor.

3.2. EVALUACIÓN DE INTEGRIDAD

Comprende un proceso de diagnóstico que permite determinar en qué condiciones (metal-mecánicas) se encuentran los equipos o componentes de los mismos, que operan a determinadas condiciones, donde las propiedades de los materiales de construcción están sujetas a cambios físicos durante el tiempo, cuantificando la degradación que ha sufrido y la vida residual del equipo o del componente.

La evaluación de integridad no debe ser confundida con las inspecciones obligatorias de mantenimiento, pues esta es una decisión de tipo gerencial que

siempre involucra una inversión económica la cual puede redundar en un beneficio para la empresa si los resultados obtenidos en la evaluación permiten alargar la vida del equipo más allá de lo presupuestado.

La evaluación de integridad ha sido desarrollada a raíz de los innumerables casos de fallas prematuras que se presentan en los componentes de los equipos, los cuales han estado expuestos a factores como:

- Altas temperaturas de operación.
- Ambientes agresivos y corrosivos.
- Fatiga, en el caso de unidades que trabajan en régimen cíclico.
- Las crecientes exigencias de seguridad personal y ambiental.
- Búsqueda de mayores eficiencias operacionales.

Con la evaluación de integridad lo que se pretende es implantar programas que permitan mejoras asociadas con:

- Extensión de vida útil de un sistema más allá de su vida de diseño residual.
- Reemplazo de los componentes expuestos a daños.
- Introducción de modificaciones a un sistema existente.
- Satisfacción de las legislaciones de seguridad.

El objetivo de establecer un programa de evaluación de integridad es proporcionar una herramienta para mejorar el tiempo de servicio de las unidades de trabajo de equipos o sistemas, atendiendo a mejoras en la seguridad de las unidades, del

recurso humano y del la preservación del medio, asegurando periodos definidos de operación segura.

3.2.1. Condiciones de Aplicación

No existe ley general que defina cuando un equipo deba ser sometido a la primera evaluación de integridad, sin embargo existen algunas condiciones que pueden ser tomadas como referencia[‡]:

- 80% de la vida de diseño de los equipos siempre y cuando hayan sido operados en condiciones normales.
- 80.000 horas de servicio continuo en equipos que no consideren una vida útil finita, donde los materiales hayan sido continuamente expuestos a temperaturas superiores a los límites presentados en la Tabla 1.

TABLA 1. Temperatura de Operación para definir momento de Evaluación de Integridad

MATERIAL	TEMPERATURA (°C)
Aceros al carbón	➤ 400
Aceros ½ Mo	➤ 420
Aceros de baja aleación Cr-Mo, Cr-Mo-V	➤ 500
Aceros inoxidables austeníticos	➤ 550

Fuente: Calderas Industriales “Tratado Práctico Operacional”; RODRIGUEZ, Gonzalo.

[‡] Recomendación general para inspección de equipos que operan a altas temperaturas; RODRIGUEZ, GONZALO. Calderas Industriales, “Tratado Práctico Operacional”.

Sin embargo este tiempo puede ser menor si ocurre sobrecarga mecánica o térmica, o en el caso de que surja evidencia prematura de acumulación de daños en equipos semejantes.

3.2.2. Etapas de Evaluación de Integridad

Es importante realizar una evaluación de integridad, que cumpla con los objetivos previstos, para poder lograrlo, se deben explorar las posibilidades de actuación de todos los mecanismos de acumulación de daños potencialmente activos en las condiciones particulares en la operación del sistema. Para ello, es importante que se realice un procedimiento de trabajo, el cual puede resumirse a continuación:

- **Planeación.** Se fundamenta en la realización de un programa de inspección que sirva de orientación a las actividades que se pretendan realizar sobre el sistema. La planeación inicia con la adquisición de información teniendo como fuente los diseños y especificaciones de fabricación y montaje, los registros de operación, los informes de inspección y los históricos de mantenimientos realizados sobre el sistema. Es fundamental obtener datos detallados sobre las modificaciones introducidas en el proceso a largo tiempo. El análisis de información durante esta etapa comprende las siguientes acciones: definición de los límites físicos, modelación de los daños esperados y plan de inspección.

- **Trabajos de campo.** Los trabajos de campo pronosticados a realizar durante la parada del sistema o equipo, tienen como finalidad la realización de las actividades definidas en la etapa de planeación. Una exigencia fundamental durante los trabajos de campo es la disponibilidad del recurso humano. En caso de ser necesaria la contratación de recursos humanos complementarios, es precisa la exigencia de su calificación.

Es importante que el personal involucrado tenga un claro conocimiento de los objetivos del trabajo que se realice y que tengan conocimiento del sistema de registro utilizado en el plan de inspección. El técnico delegado del sistema o del equipo, debe asumir las siguientes responsabilidades: Acompañar los trabajos de detección de fallas o de áreas potenciales a las mismas, analizar los posibles daños encontrados (debe estar en la capacidad de interpretarlos), establecer la necesidad de reparación inmediata y recomendar los procedimientos aplicables (en el caso de que sean identificados defectos en el sistema o equipo) y pronunciar conceptos sobre las condiciones de seguridad de los equipos intervenidos al final del trabajo de inspección.

- **Análisis de resultados.** Se debe emitir un informe basado en la interpretación y conceptualización de la información lograda en las etapas de planeación y trabajos de campo. El informe debe reunir de modo sistematizado toda la información relevante, presentar una evaluación, establecer un periodo seguro para la operación del sistema o equipo y

proporcionar un plan de inspección a ser aplicado en la nueva evaluación de integridad, a ser conducida al final del dicho periodo.

3.3. TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO

Actualmente existen diferentes estrategias para realizar los programas de inspección y mantenimiento de equipos e infraestructura en general. Se realizó un estudio de tres (3) opciones utilizadas en la industria, considerando que serán la base de la metodología para evaluar una Caldera Piro-tubular y que se aplicará a la Universidad Industrial de Santander, como se presentan a continuación:

3.3.1. Mantenimiento Productivo Total (PPM)

Este sistema garantiza la efectividad de los sistemas operativos en una búsqueda por conservar la disponibilidad de los mismos, mediante la participación de personal de operación en las actividades del mantenimiento. Su meta es incrementar notablemente la disponibilidad del equipo y al mismo tiempo lograr que los trabajadores sientan satisfacción por el trabajo realizado. Se basa en el principio fundamental que toda persona cuyo trabajo tenga que ver con un equipo debe estar involucrado en su mantenimiento y administración, razón por la cual se necesita la capacitación continua del personal asignado a la operación.

La caldera de Bienestar Universitario de la UIS, cuenta con un solo operario que no se encuentra capacitado para el mantenimiento del equipo; en este contexto este

sistema no es conveniente porque todo el proceso de mantenimiento y operación dependería de una única persona que no está presente durante toda la operación. Es claro que la Universidad no ha realizado la inversión de la capacitación específica de este empleado.

3.3.2. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)

Es un método utilizado para determinar sistemáticamente qué debe hacerse para asegurar que los activos físicos continúen haciendo lo requerido por el usuario en el contexto operacional presente. En esta visión, el mantenimiento asegura que un activo continúe cumpliendo su funcionalidad de forma eficiente. La actividad deseada debe ser o encontrarse dentro de los límites estándar de ejecución asociado a su capacidad o confiabilidad de diseño. Es una metodología que tiene presente que la capacidad de diseño y la confiabilidad limitan las funciones de cada activo. El objetivo principal de esta metodología es conservar el funcionamiento del proceso antes que del equipo.

La división de mantenimiento tecnológico de la UIS, responsables de la Caldera de Bienestar Universitario no cuenta aún con la organización de los sistemas de información requeridos para que esta metodología sea aplicada eficientemente; es por eso que se considera que no es la más adecuada para el desarrollo de este proyecto.

3.3.3. Mantenimiento Basado en Riesgo

Propone realizar un análisis de riesgo global de los procedimientos y de los equipos involucrados y aplicar planes de mantenimiento y de inspección diferenciados para cada sistema, conforme al riesgo particular del mismo. La tendencia estadística de concentración de alto riesgo en una fracción del equipo del sistema es un hecho observado en la práctica; tomando como base esta premisa para reducir el riesgo global se hace necesario aplicar planes de inspección y mantenimiento diferenciados para cada equipo. Con esto se busca intensificar los gastos en tareas de mantenimiento donde el riesgo es alto y disminuirlos donde el riesgo es bajo.

Evaluando la facilidad de operación, los costos de inversión, el tiempo de implementación, la sencillez para la aplicación en la Universidad Industrial de Santander – División de Bienestar Universitario, se considera que este sistema es el más adecuado para fundamentar el diseño de la metodología aplicada a la Caldera Piro-tubular.

La metodología a desarrollar esta fundamentada en la fase de diagnóstico y captura de las condiciones del equipo pues se considera que es la base de la generación de la información que alimenta el valor del mantenimiento. Para ello es fundamental en la UIS el establecimiento de la filosofía de mantenimiento específica para la caldera piro-tubular, lo cual permitirá generar planes de inspección y mantenimiento definidos; asegurando de esta manera la continuidad del proceso, la reducción de los impactos por fallas operacionales, minimizar los

riesgos en la zona de ubicación del equipo, evitar accidentes y lograr un mínimo impacto de peligrosidad.

Al identificar que el programa de mantenimiento adecuado para implementar en la Caldera Piro-tubular de la UIS es basado en riesgos, queda explícito que el diagnóstico y valoración del dispositivo debe realizarse con esta misma orientación. En este marco la Metodología propuesta trabajará bajo el procedimiento de **Inspección Basada en Riesgos (RBI)**.

3.4. FASES DE LA METODOLOGÍA

La metodología está compuesta de forma general por tres (3) módulos o fases que agrupan las actividades para la evaluación de integridad basada en la inspección y el mantenimiento. Estas fases son consecutivas pero enmarcan su ejecución en un ciclo dinámico, como se representa en la figura 4.

FIGURA 4: Fases de la Metodología



Fuente: Propuesta del Autor.

La primera Fase de Diagnóstico incluye la evaluación del estado inicial del dispositivo y la valoración de los riesgos de su operación, tanto para las personas como para los activos y la institución. Para realizar esta actividad se implementará el enfoque de RBI – Inspección Basada en Riesgos.

El segundo módulo consecutivo a la valoración de los riesgos inicial, generará las actividades a ejecutar para el mantenimiento y mejora de los procesos, enmarcadas en Planes o Programas de Trabajo. Finalmente deberá realizarse la evaluación del cumplimiento y efectividad de las actividades realizadas, así como el análisis de las mejoras correspondientes de la metodología propuesta.

La retroalimentación de este proceso permanentemente es necesaria para poder asegurar la integridad de la Caldera en el tiempo y extender la vida útil de estos dispositivos. Por esta razón la metodología diseñada y que será implementada inicialmente en la Caldera de la UIS exigirá una constante actualización y permanente aplicación, comenzando nuevamente desde la fase de diagnóstico y valoración.

4. DIAGNÓSTICO DE LA CALDERA

4.1. PARÁMETROS OPERACIONALES

La evaluación de las condiciones actuales de operación del sistema, con el propósito de establecer medidas de ahorro de energía en función de las características de diseño de la unidad y la recomendación de las modificaciones operacionales y de mantenimiento, teniendo en cuenta las variables económicas que permitan mejorar o mantener la eficiencia de la unidad, permiten realizar un diagnóstico para evaluar las condiciones operacionales y mantener un óptimo funcionamiento con la posibilidad de tomar decisiones sobre las fallas potenciales en el Equipo.

Para emitir un diagnóstico, se requieren algunas actividades mencionadas a continuación que permitan captar información, para analizarla y evaluarla.

4.1.1. Medición de Variables

Se hace necesario contar con la instrumentación mínima para medir las variables necesarias y un personal capacitado para realizar estas actividades, de manera que se pueda emitir un diagnóstico confiable. Dentro de las condiciones operacionales a medir se encuentran:

- **Presión:** Mediante manómetros calibrados localizados en las tuberías del agua de alimentación y vapor generado.
- **Temperatura:** Es necesario contar con termómetros calibrados para tomar la temperatura de: agua de alimentación, vapor generado, combustibles, gases de combustión, aire ambiente, y vapor de atomización.
- **Flujo:** Mediante un equipo de medición de flujo instalado como placa de orificio, en las corrientes de: agua de alimentación, vapor generado y combustibles.
- **Composición, poder calorífico, densidad relativa y capacidad del combustible:** Es necesario contar con la especificación del proveedor del combustible, o mediante el análisis de estas variables, o utilizar los valores típicos para cada combustible.
- **Composición de los gases de combustión:** Mediante el equipo de análisis de gases de combustión para determinar el contenido de O₂ (%), CO₂ (%) y CO (ppm).

4.1.2. Información General

Es importante tener en cuenta para realizar el diagnóstico contar con información general del dispositivo y datos generales de la operación del mismo:

- Número de caldera.
- Condiciones de Operación.
- Datos de la caldera.
- Uso de vapor generado.
- Costos de agua de alimentación, retorno de condensados, vapor generado y combustibles.
- Datos en campo.

La revisión y el análisis de la información descrita anteriormente, da la posibilidad de tener una visión inmediata y suficiente para la evaluación. La siguiente etapa del desarrollo del diagnóstico, consiste en la recopilación de información más detallada, con la que se busca conocer la función y característica operacionales del equipo.

4.1.3. Información de Detalle

En este ítem se contempla la información detallada de diseño y operacional, la cual se puede clasificar en dos grandes actividades:

- **Localización e integración de documentos de diseño:** dentro de los documentos para el desarrollo del análisis se solicitan:
 - ✓ Hojas de datos de calderas, necesariamente tiene que ser la generada o proporcionada por el proveedor de equipo.
 - ✓ Dibujo o plano del arreglo general de la caldera. También es un documento suministrado por el proveedor del equipo.
 - ✓ Diagrama de tubería e instrumentación del equipo.
 - ✓ Diagrama de flujo del proceso del cual la caldera participa.

- **Integración de parámetros de operación:**
 - ✓ Requerimientos térmicos de la planta donde se ejecuta el proceso.
 - ✓ Agua de alimentación, vapor producido, vapor de atomización y purga: temperatura, presión, flujo.
 - ✓ Combustible: tipo de combustible, temperatura, presión, flujo, densidad relativa, poder calorífico superior e inferior, capacidad calorífica.
 - ✓ Gases de combustión: Temperatura, contenido de oxígeno, contenido de dióxido de carbono, contenido de monóxido de carbono. Estos parámetros se obtienen mediante el uso de un escáner o analizador de gases.

Luego de haber analizado los datos de diseño, emitidos por el fabricante de la unidad, se procede a realizar la comparación con los datos actuales de operación y así emitir los resultados de la evaluación.

Es importante en esta instancia, realizar una inspección visual, con el fin de captar algún tipo de imperfección física que pueda presentarse en la infraestructura.

4.2. INSPECCIÓN BASADA EN RIESGOS (RBI)

La inspección basada en riesgo (RBI) corresponde a una metodología de mantenimiento, que mediante el desarrollo de planes de inspección pretende conservar equipos íntegros de una manera efectiva sin comprometer su seguridad

y la de los alrededores, por medio de la evaluación de niveles de riesgo focalizados; al establecer estas evaluaciones se ve reflejada una reducción de costos asociados a reparaciones, pues todo queda programado en los resultados de las inspecciones.

Nivel de riesgo se entiende como la combinación del grado de probabilidad que ocurra cierto acontecimiento durante un periodo de tiempo de interés y de las consecuencias, (generalmente negativas), asociadas al acontecimiento. Se evalúa calculando la frecuencia de falla de cada componente, como función directa de los mecanismos de daño que puedan ocasionar la falla.

$$\mathbf{RIESGO = Frecuencia\ de\ falla \times Consecuencia.}$$

De la ecuación anterior se puede concluir:

1. Es posible identificar cada uno de los peligros potenciales presentes en una instalación, para luego determinar la frecuencia con que el evento ocurrirá.
2. Estimar la magnitud del daño que se producirá.

La metodología RBI está guiada por los códigos API RP 580, en el que se describen conceptos y elementos necesarios para el refuerzo de la misma, pues se pretende realizar una metodología de alta calidad; API RP 581 en la que se describe la metodología específica de RBI, donde se formula una aproximación detallada a la misma, aceptable con respecto a API RP 580; API RP 510 y API RP 572 Inspección

de recipientes a presión y API RP 570 la cual hace referencia a inspección de tuberías.

4.2.1. Beneficios de la inspección basada en riesgos

Existen grandes ventajas de implementar esta técnica para diagnosticar sistemas como las que se presentan a continuación:

- Desarrolla la gestión de mantenimiento e inspección de los equipos de una manera óptima.
- Facilita la planificación del mantenimiento, pues está basado en el uso de criterios en los que se identifican los componentes que más influyen en el riesgo, para luego focalizar la inspección.
- Aumenta la seguridad del equipo garantizando un alto nivel de integridad mecánica y una reducción considerable de los mecanismos de falla posibles, ya es posible identificar los componentes más susceptibles a riesgos para sobre ellas centrar los esfuerzos de mantenimiento.
- Reduce el riesgo sobre el personal, pues durante la aplicación se identifica la posibilidad de ampliar los periodos de inspección en lugares que puedan resultar peligrosos.

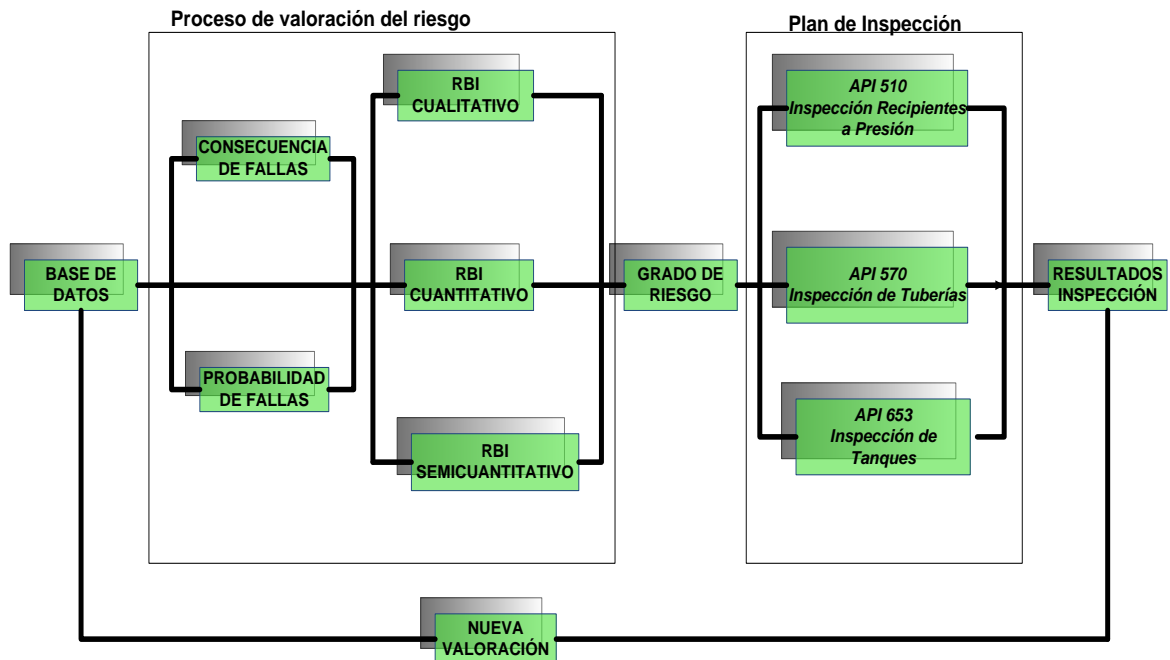
- Reduce costos directos e indirectos, permite adecuar el número de paradas a las necesidades reales de la inspección y reducir el número de paradas no programadas que tienen su origen en fallas inesperadas.
- Estima el valor del riesgo asociado con el funcionamiento del equipo y prioriza el equipo basado en la medición del riesgo.
- Plantea el diseño de un programa de inspección apropiada y un manejo sistemático de fallas.

Así mismo este proceso de RBI puede generar:

- Una clasificación de riesgos de todo el equipo evaluado.
- Una detallada descripción del plan de inspección que se pretende implementar.
- Una descripción de cualquier actividad correspondiente a atenuación de riesgos (reparaciones, reemplazos, actualizaciones del equipo de seguridad entre otras).
- Los niveles de riesgo esperados de todo el equipo después de implementar el plan de inspección.

El proceso RBI, para alcanzar una adecuada aplicación, requiere diversos elementos que interactúan sistemáticamente, como se presenta el esquema en la Figura 5. Consta de una recolección de información, un proceso de evaluación y categorización del riesgo, la elaboración y ejecución del plan de inspección, la revisión de los resultados de la inspección y retroalimentación o nueva valoración.

FIGURA 5: Esquema de RBI (Inspección Basada en Riesgo)



Fuente: API RP 581

La valoración de riesgo obtenida mediante este proceso, involucra dentro de la evaluación análisis de probabilidad y consecuencias de falla, que según API 580, pueden ser clasificados de forma cualitativa, cuantitativa o semicuantitativa. La

elección de cada una depende de la aplicación, pues se elige el que se considere más conveniente.

El éxito de la metodología está en lograr ajustar un determinado número de inspecciones definidas según el nivel de riesgo que puedan presentar los componentes de un equipo o instalación, teniendo especial cuidado en realizar clasificaciones adecuadas para dar prioridad a la inspección de las partes más críticas. Para ello se cuenta con el soporte de códigos y normas, dentro de las cuales se encuentra el código de Inspección de Recipientes a Presión API RP 510, necesario para complementar de manera acertada el trabajo de inspección.

Finalizada la ejecución del plan de inspección, se procede a realizar la revisión de resultados, para tomar las medidas pertinentes y así entrar a la retroalimentación o nueva valoración, que dé la oportunidad de disminuir el nivel de riesgo.

Es importante para el inicio de la evaluación RBI, contar con toda la información que resulte útil para la construcción del proceso, estos datos pueden ser:

- Hojas de vida de los equipos.
- Tipo de fluido con el que el equipo opera.
- Registro de inspecciones y/o reparaciones.
- Condiciones de operación.
- Información sobre sistemas de seguridad del equipo.
- Data sheet´s.

Para RBI toda información disponible sobre el equipo (construcción, funcionamiento, etc.), es importante tenerla documentada; según API RP 580 los datos típicos necesarios que se pueden incluir, pero a los que no se limita un RBI son:

- Tipo de equipo.
- Datos de diseño.
- Históricos de inspección, reparación y reemplazo.
- Datos del proceso que se lleva a cabo (composición del fluido, temperatura y presión de operación, caudal)
- Sistemas de seguridad.
- Sistemas de alarma.
- Mecanismos de daño, velocidad de corrosión, severidad del deterioro.
- Densidad de personal (operadores, vecindad)
- Información sobre recubrimientos, revestimiento y datos de aislamientos presentes en el equipo.
- Costos de interrupción del negocio.
- Costos de reemplazo del equipo.
- Costos de remediación ambiental.

El detalle y el porcentaje de los datos necesarios para un análisis RBI dependen de la forma en que se desee realizar la calificación de las consecuencias y de la

probabilidad de falla que se evalúe; pues de la evaluación depende el número de entradas (riesgos–base de datos), cálculos y salidas de ésta.

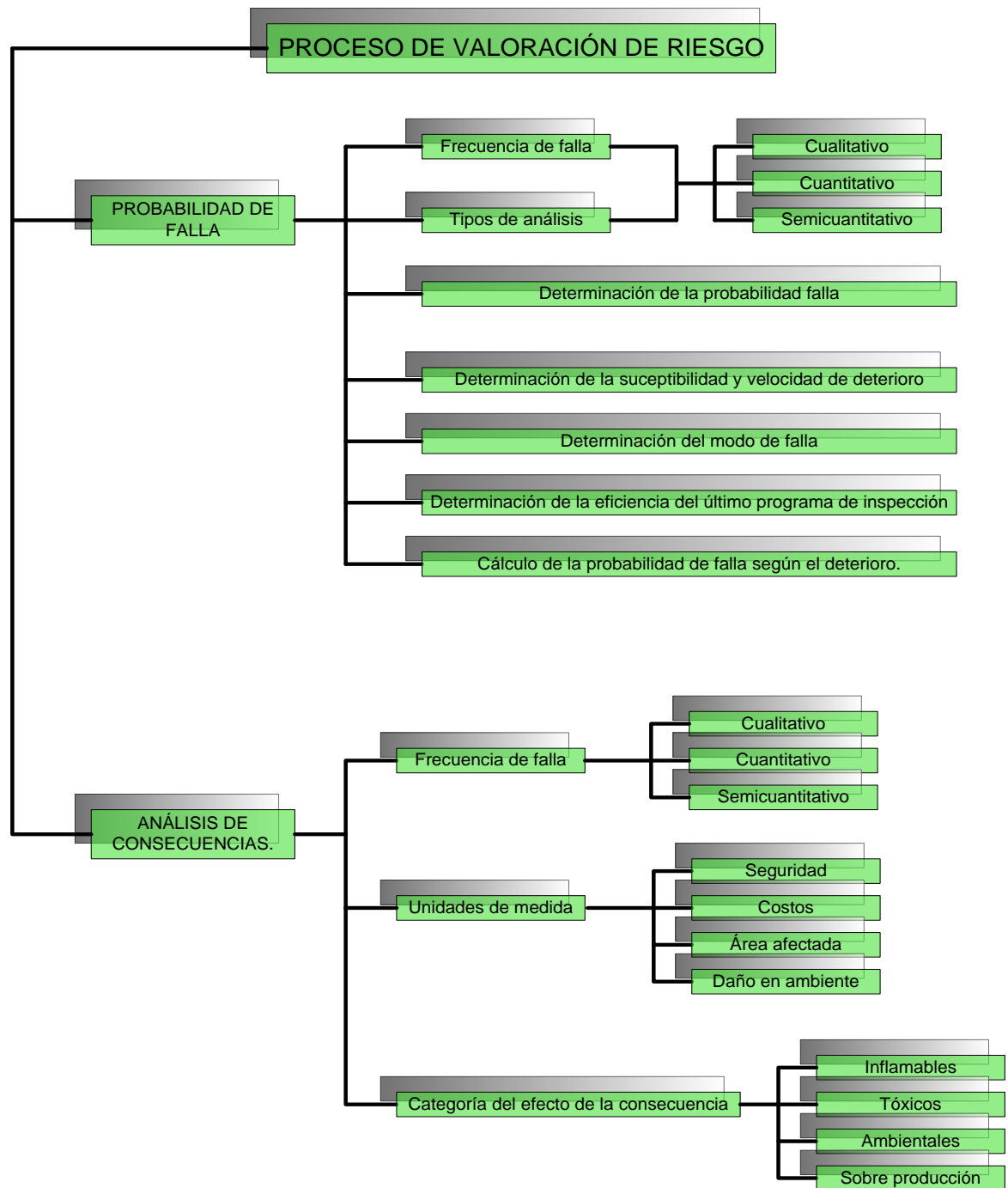
Es importante para el análisis RBI que los datos de encuentren actualizados, pues es benéfico para la evaluación de la integridad del equipo, ya que se conoce puntualmente sobre la zona la cual se requiere profundizar en el análisis.

4.2.2. Valoración del Riesgo

La valoración de riesgo es parte fundamental del proceso, pues es donde éste se retroalimenta para lograr su mitigación o eliminación.

En el proceso de valoración del riesgo juega un papel fundamental el análisis de probabilidad de falla y el análisis de consecuencias; se calcula la frecuencia de la falla como una función directa de los mecanismos de deterioro que se presentan y la valoración de consecuencias económicas en términos de daños en personal, instalaciones, ambiente y pérdidas por producción, tal como se ilustra en el esquema a continuación, Figura 6.

FIGURA 6: Proceso de Valoración de Riesgo



Fuente: API RP 581

4.2.3. Análisis de Probabilidad de Falla

Un análisis de probabilidad de falla es de gran importancia en la planeación de la metodología RBI, pues se hace necesario estimar la probabilidad de que una falla se presente, teniendo como consecuencias imprecisiones en la evaluación y factores de pérdida de integridad en el equipo.

Se debe observar que los mecanismos de deterioro no son las únicas causas de pérdida de precisión en el desarrollo de la metodología, otras causas pueden ser:

- Actividad sísmica.
- Climas extremos.
- Sobrepresión debido a fallas en dispositivos de seguridad.
- Errores humanos.
- Sustitución inadvertida de materiales de construcción.
- Errores en los diseños.
- Sabotaje.

Estas y otras causas de pérdida de integridad en los equipos, pueden tener un impacto considerable en la probabilidad de falla, razón por la cual se deben incluir todos los mecanismos de deterioro en su análisis.

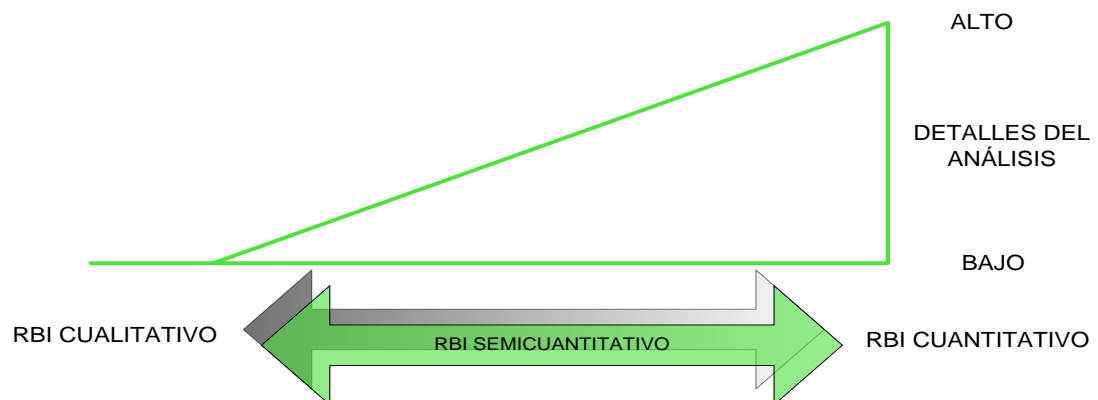
Un análisis de probabilidad de falla debe incluir la evaluación de aquellas zonas en donde el equipo es susceptible a múltiples mecanismos de deterioro (corrosión, agrietamiento, porosidad entre otras). Esta valoración, se conduce

para preciar la eventualidad de diferentes mecanismos de daño, si se presenta un modo de falla con frecuencia, se recomienda hacer uso de datos históricos para estimar la probabilidad del acontecimiento; si se carece de estos, se realiza un estudio de los elementos que intervienen en el evento para la predicción total del lugar de la falla.

La forma de medir la probabilidad de falla es la *frecuencia*, la cual se expresa como un número de eventos que ocurren durante un marco de tiempo especificado, para ello el tiempo se expresa como un intervalo fijo (ejemplo 1 año), y la frecuencia se expresa como números de eventos por ocasión.

El análisis de probabilidad de falla puede efectuarse de manera cuantitativa o cualitativa, no obstante debe ser reconocido que estos tipos de evaluaciones son los puntos extremos de una serie continua de acercamientos distintivos.

FIGURA 7: Serie continua de valoración de RBI (Inspección Basada en Riesgo)



Fuente: API RP 580

Un análisis mediante un enfoque cualitativo, involucra la identificación de unidades, sistemas o equipos, materiales de construcción. En la base del conocimiento de la historia operacional de planes de mantenimiento e inspección futura y del posible deterioro de los materiales, la probabilidad de falla puede ser evaluada en forma separada para cada unidad, sistema o equipo, para categorizarla se puede describir categorías como alto, medio, bajo o numéricamente como 0,1 a 0,01 veces por año.

Para realizar un análisis cuantitativo de la probabilidad de falla puede tomarse un enfoque probabilístico donde se utilice información específica de falla para calcular una probabilidad de falla, datos que se pueden obtener en el equipo específico o en equipos similares.

Los resultados pueden expresarse como una distribución y no como un solo valor determinante.

Cuando existe información de falla insuficiente o inexistente de los puntos de análisis se utilizan datos generales de la falla, con el fin de generar una frecuencia con base en información específica del equipo.

4.2.3.1. Determinación de la Probabilidad de Falla

Independiente del tipo de análisis que se seleccione para realizar la metodología, la probabilidad de falla se determina mediante dos (2) consideraciones:

- a) Mecanismos y velocidades de deterioro del material de construcción, del equipo resultante de su ambiente de operación (consideraciones internas y externas).

- b) Efectividad del programa de inspección para identificar y supervisar aquellos mecanismos de deterioro, con el propósito de realizar las reparaciones o reemplazos necesarios en el equipo antes de que se presente la falla.

Analizar el efecto del deterioro durante el servicio y la inspección sobre la falla, comprende los siguientes pasos:

- Identificar mecanismos de deterioro, activos y creíbles que podrían ocurrir durante el periodo de tiempo que se está considerando, teniendo en cuenta todo tipo de condiciones.

- Determinar la susceptibilidad y la velocidad de deterioro.

- Cuantificar la eficiencia del último programa de inspección y mantenimiento, a fin de considerar un programa futuro. Es necesario evaluar la probabilidad de falla, presentando varias alternativas o estrategias de inspección y mantenimiento futuras, incluyendo la No inspección y No mantenimiento.

- Estimar la probabilidad de que si con la condición actual el deterioro esperado continúa con la velocidad de degeneramiento prevista y si ésta excederá la tolerancia de daño del equipo y producirá la falla. El modo de falla debe también ser resuelto (ejemplo: fugas, rupturas en el equipo) basado en el mecanismo de deterioro. En algunos casos puede ser deseable determinar la probabilidad de más de un modo de falla y combinar los riesgos.

4.2.3.2. Determinación de la susceptibilidad y velocidad del deterioro

Para lograr realizar el proceso de modo efectivo, se debe considerar las posibles combinaciones o alteraciones en las condiciones del proceso y los materiales de construcción para cada elemento del equipo, las cuales se deben evaluar con el fin de determinar los mecanismos activos del deterioro; para ello, se pueden agrupar los distintos componentes (mismo material de construcción por ejemplo). Los resultados de la inspección a partir de un elemento del grupo se pueden relacionar con otro equipo que pertenezca al mismo grupo.

La velocidad del deterioro de un equipo específico no se conoce con certeza; la capacidad de establecer la velocidad de deterioro con precisión, se ve afectada por la complejidad del equipo, tipo de mecanismo de deterioro, variaciones del proceso, factores que pueden imposibilitar el acceso a la inspección o producir limitaciones en el método de aplicación.

Las fuentes de información de la velocidad de deterioro incluyen:

- Datos publicados.
- Pruebas de laboratorio.
- Pruebas en sitio y monitoreo del equipo en servicio.
- Datos de inspecciones anteriores.

Entre otras fuentes de información, se incluyen bases de datos de las plantas y/o equipos similares, experiencias y metodologías aplicadas anteriormente.

4.2.3.3. Determinación del modo de falla

El análisis de la probabilidad de falla se usa para evaluar el modo de falla (ejemplo: grietas, pequeñas porosidades entre otros) y la probabilidad que ocurra cada modo de falla; es importante relacionar el mecanismo de deterioro con el modo de falla más probable resultante, por ejemplo:

- Las picaduras o porosidades llevan generalmente a pequeños agujeros o escapes.
- Los agrietamientos por corrosión por esfuerzo, pueden avanzar hacia pequeñas grietas a través de paredes, y provocar rupturas catastróficas.
- El deterioro metalúrgico y mecánico puede llevar a modos de falla que varía de poros a rupturas.

- El adelgazamiento de pared produce a menudo a fugas.

El modo de falla afecta fundamentalmente la magnitud de las consecuencias, razón por la cual el análisis de probabilidad y consecuencia deben ser trabajados recíprocamente.

4.2.3.4. Determinación de la eficiencia del último programa inspección

Los programas de inspección (combinación de métodos de ensayos no destructivos, tales como inspección visual, ultrasonido, termografía) varían frecuentemente, lo que permite una ineficiencia cuando se intenta localizar y dimensionar el deterioro; entre las limitaciones de la inspección que pueden producir ineficiencias están:

- Deficiencia en el cubrimiento de un área sometida a deterioro.
- Imposibilidad de acceder a métodos de inspección adecuado para detectar y valorar ciertos tipos de deterioro.
- Inadecuada selección en las herramientas y métodos de inspección.
- Ejecución equivocada del procedimiento en la metodología por parte del personal durante su aplicación.
- La velocidad de deterioro bajo algunas condiciones extremas es tan alto, que la falla puede ocurrir en intervalos de tiempo muy cortos.

Aunque no se encuentre deterioro durante la inspección la falla puede ocurrir como resultado de variaciones en las condiciones del proceso o del equipo. Es importante tener presente que la última inspección es la que mejor refleja las condiciones actuales de operación. Si existe variación en estas, puede que las velocidades de deterioro no sean las esperadas. La determinación de la eficiencia de la inspección debe considerar los siguientes aspectos:

- Tipo de equipo.
- Mecanismos de deterioro, activos y creíbles.
- Velocidad de deterioro.
- Accesibilidad a las áreas previstas del deterioro

4.2.3.5. Cálculo de la probabilidad de falla

Combinando el mecanismo de deterioro previsto, la velocidad o susceptibilidad de deterioro, datos y efectividad de inspección; una probabilidad de falla puede ahora ser determinada por cada tipo de deterioro y modo de falla. La probabilidad de falla puede ser determinada tanto para periodos de tiempo actuales y futuros

4.2.4. Análisis de Consecuencias

El proceso de analizar consecuencias hace parte fundamental de la metodología RBI, ya que permite proporcionar una discriminación entre los equipos sobre la base de la importancia de una falla potencial. Este proceso puede realizarse de forma cualitativa o cuantitativa.

Es importante que el programa RBI particular, se encuentre bien documentado, es decir que los programas de inspección y mantenimiento sean lo suficientemente claros para que el personal que realiza la labor lo haga de una manera eficiente. El personal autorizado debe estar en la capacidad de manejar e interpretar el riesgo, pues en ocasiones es necesario tomar decisiones y manipular la probabilidad de falla.

4.2.4.1. Pérdida de Integridad

Como pérdida de integridad se entiende la disminución del equipo en su capacidad de realizar eficientemente la operación para cual fue diseñado; las siguientes fallas pueden ocasionar el fenómeno:

- Pérdida de contención de fluido de trabajo, la cual se manifiesta como disminución en la capacidad o potencia del equipo durante la operación, al ocurrir esto, el líquido que se fuga es expulsado hacia el exterior, como consecuencia de esta falla se puede mencionar:
 - a) Impacto a la seguridad y a la salud del personal.
 - b) Pérdidas en la producción.
 - c) Costos de mantenimiento y reconstrucción.
- Fallas mecánicas en los componentes que conforman la unidad.
- Fallas en tuberías.
- Fallas en válvulas.
- Fallas en sellos que provocan fugas

4.2.4.2. Análisis de consecuencias cualitativo

En este tipo de análisis, se involucra la identificación de unidades, sistemas o equipos, y los peligros potenciales que se puedan presentar como resultado de la operación. La experiencia del personal a cargo de la unidad resulta importante en el análisis, pues las consecuencias de falla (impactos de seguridad, salud, ambiental, financiera) puede ser considerada por separado para cada parte del equipo o sistema.

En el análisis cualitativo se permite una categorización tal como “A”, “B” o “Alto, Medio o Bajo”, categoría que se asigna para cada componente.

4.2.4.3. Análisis de consecuencias cuantitativo

Para realizar un análisis cuantitativo, se hace necesario representar los efectos de una falla sobre personas, localidades, ambiente. Este modelo generalmente contiene uno o más escenarios de falla y se realiza el cálculo con la consecuencia de falla en base a:

- a) Tipo de fluido del proceso.
- b) Estado del fluido en el proceso (líquido, sólido o gas).
- c) Propiedades del fluido (peso molecular, punto de ebullición, temperatura de autoignición, densidad etc.)
- d) Características de operación del proceso (presión y temperatura).
- e) Porción entregable de fluido para realizar el proceso, teniendo en cuenta fugas.

- f) Modo de falla y tamaño de fugas.
- g) Estado del fluido luego de la emisión en condiciones ambientales (emisiones sólidas, líquidas o gaseosas).

En un análisis cuantitativo generalmente se presentan los resultados en forma numérica, dependiendo de la clasificación de las consecuencias se pueden agrupar para mejorar el análisis.

4.2.4.4. Unidades para un análisis de consecuencias

En la metodología RBI el personal encargado de su aplicación debe considerar la naturaleza de la falla y las posibles consecuencias que se puedan presentar para así seleccionar las unidades de medida apropiadas, teniendo en cuenta que los resultados puedan ser comparables tanto como sea posible, para dar prioridad a los riesgos más críticos y generar un mayor control sobre el equipo.

Dentro de las unidades de consecuencias en una valoración RBI, se pueden considerar:

- **Seguridad:** Se presentan como un valor numérico o caracterizado por una categoría de consecuencia asociado a la severidad de lesiones que puedan resultar de un evento no deseado como: fatalidad, dislocaciones, lesiones que impliquen tratamiento médico, primeros auxilios, o se pueden expresar como una categoría ligada a la severidad de la lesión por ejemplo A-B-C-D-E.

- **Costos:** Generalmente es un indicador de consecuencias potenciales. A la mayoría de las consecuencias es posible asignarles un valor. Las consecuencias típicas que se pueden expresar en términos de costo incluyen:
 - a) Pérdida de producción debida al tiempo fuera de servicio (paradas programadas y no programadas.)
 - b) Utilización de equipos y personal para la atención de emergencias.
 - c) Materia prima que se desperdicia por la presencia de fugas.
 - d) Degradación de la calidad del producto.
 - e) Reparaciones i reemplazo de las unidades dañadas.
 - f) Daños provocados en los ambientes cercanos.
 - g) Limpieza en lugares cercanos a fugas.
 - h) Pérdidas en las utilidades, propiciadas por las interrupciones del proceso.
 - i) Disminución en el mercado.
 - j) Lesiones personales o muertes.
 - k) Reclamación de tierras en arriendo.
 - l) Pleitos legales.
 - m) Multas.

En la práctica muchos de los costos acarreados por las acciones anteriores no son prácticas ni necesarias en la aplicación de una metodología RBI.

Para la evaluación de costos en un proceso RBI, se requiere que la información disponible sea lo más completa posible; información como por ejemplo valor del producto, costos del equipo, costos de reparación del equipo, daños ambientales, pueden resultar difíciles de determinar, la mano de obra requerida para realizar análisis basado en finanzas puede resultar limitado, sin embargo el costo tiene la ventaja de lograr realizar comparaciones directas de varios tipos de pérdida sobre una base común.

- **Área afectada:** Representa el tamaño de la superficie que se afecta por algún ambiente no apto o deterioro mayor que un valor límite predefinido. De acuerdo con los términos elegidos, cualquier cosa –personal, equipos, ambientes–, dentro del área será afectada por las consecuencias del riesgo. Para facilitar la clasificación de las consecuencias de acuerdo al área afectada es posible distribuir uniformemente los equipos o personal en riesgo, para así de esta manera hacer más eficiente la metodología.
- **Daño al ambiente:** En la metodología RBI las medidas de consecuencia ambiental son las que presentan un menor desarrollo, pues actualmente no se han presentado propuestas para tal fin lo que hace mas difícil la evaluación de este tipo de consecuencias. Los parámetros típicos utilizados para proporcionar medidas indirectas del grado de daño ambiental son:
 - a) Hectáreas de tierra afectadas en periodos de tiempo definidos.
 - b) Número de recursos biológicos o de uso humano consumido.

La representación del daño al ambiente se relaciona frecuentemente al uso del costo, en términos de dólares (moneda mundial por excelencia) por año, para pérdida y restauración de los recursos ambientales.

En la mayoría de evaluaciones de consecuencia, un elemento clave para determinar la magnitud de ésta es el volumen de fluido que se escapa debido a fugas, que se ocasiona generalmente de una combinación de elementos como:

- a) Volumen de fluido disponible a escapar. Teóricamente es la cantidad de fluido que se fuga entre las válvulas de seguridad.
- b) Modo de falla.
- c) Velocidad de la fuga.
- d) Tiempo en que se detecta la fuga y se repara.

En algunos casos, el volumen escapado será el mismo volumen disponible para escape. Habitualmente los equipos presentan protecciones y protocolos en el lugar de modo que la fuga pueda ser aislada y el volumen en escape será menor que el volumen disponible para escape.

4.2.4.5. Categoría del efecto de la consecuencia

Dentro de las causas más comunes que afectan la integridad de un equipo mecánico se pueden mencionar las sobrepresiones que ocasionan escapes de

fluidos que pueden originar daños en la seguridad, la salud, el ambiente, en instalaciones; para mitigar este tipo de causas la metodología RBI considera la naturaleza de los riesgos a fin de considerar los factores implicados y apropiados para la unidad, en otras palabras se debe considerar la naturaleza de los peligros. Sin importar el tipo de análisis que se use (cualitativo o cuantitativo) los factores más importantes a considerar en la evaluación de las consecuencias de falla se listan a continuación:

- **Consecuencias Inflamables:** se presentan cuando existe una fuga cerca a una fuente de ignición, estos eventos pueden causar daño de dos formas: radiación térmica y explosión. A continuación se presentan algunas categorías típicas de eventos de explosión e incendio:
 - a) Explosión
 - b) Incendio combinado.
 - c) Fuego a presión.
 - d) Llama de chorro.
 - e) Explosión por cada vapor de expansión de líquido en ebullición.

- **Causas Tóxicas:** El RBI considera este tipo de emisiones cuando afectan al personal, a diferencia de las consecuencias inflamables no requieren de un evento adicional (Autoignición), para ocasionar heridas al personal. Existen dos características comunes al momento de evaluar los efectos de una emisión tóxica; el primero utiliza un solo criterio que identifica un nivel

específico en el cual efectos adversos serios sobre la salud pueden ocurrir. El segundo utiliza un acercamiento de probabilidad que refleja un daño probable entre una población determinada, para una dosis determinada, esta característica refleja la incertidumbre en la respuesta entre personas y dosis determinada.

- **Consecuencias Ambientales:** en la actualidad representa tal vez el componente más importante en cualquier consideración del riesgo. El daño en el ambiente resulta por ejemplo de un escape de material que puede afectar la flora o la fauna, lo que puede acarrear esfuerzos significativos de limpieza.

La determinación del daño en el ambiente es difícil de estimar, pues existen muchos factores implicados en actividades de limpieza y en la estimación de costos por multas gubernamentales.

Las consecuencias ambientales se derivan típicamente de los siguientes elementos:

- a) Volumen de fluido escapado.
- b) Capacidad de encender vapor.
- c) Protecciones de contención de fugas.
- d) Recursos ambientales afectados.
- e) Consecuencias debido a procedimientos legales (litigios, multas, paradas potenciales por orden de autoridades competentes.)

Los escapes líquidos producen contaminación en el subsuelo, en aguas subterráneas; los escapes gaseosos producen consecuencias de difícil determinación, pues se relaciona con las restricciones reguladoras y las sanciones por exceder las restricciones permitidas.

- **Consecuencias en la producción:** este tipo de consecuencias se manifiestan cuando existen eventos que implican pérdidas en la operación, como puede ser reducción de flujo producido por fugas, pérdida de potencia debido a la mala calidad de la materia prima. Las principales consecuencias a la producción en la metodología RB se manifiestan financieramente.

Dentro de las herramientas utilizadas para calcular las consecuencias de la interrupción del negocio puede presentar factores como:

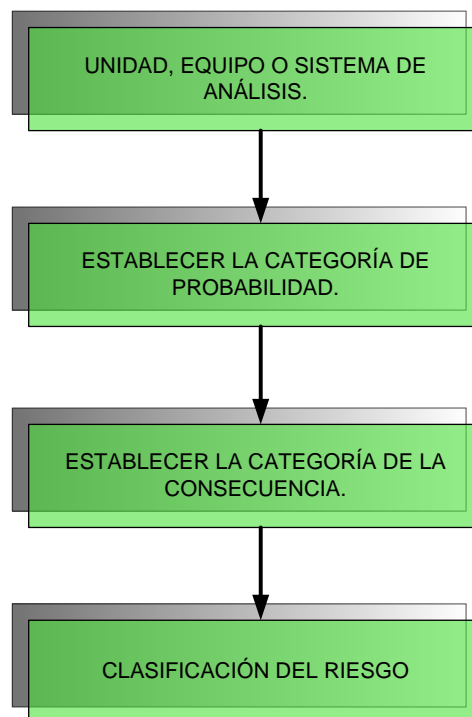
- a) Capacidad para reparar o reemplazar el equipo dañado.
- b) Potencial de daño a un equipo cercano.
- c) Potencial de pérdida de producción para otras unidades.

4.2.5. RBI Cualitativo

En este tipo de examen se hace uso de la experiencia del personal encargado de la unidad, quienes emiten juicios acerca de la valoración del riesgo, utilizada como base del análisis de probabilidad y consecuencias de falla.

En la metodología RBI evaluada cualitativamente se logra adquirir un análisis que se convierte en una base importante para priorizar el programa basado en riesgo, como se representa en la Figura 8.

FIGURA 8: Descripción del acercamiento cualitativo de RBI



Fuente: API 581

Dentro de las ventajas que presenta este tipo de análisis es el poco detalle en cuanto a tomas de datos se refiere, lo que permite reducción de tiempos, sin embargo también presenta desventajas respecto a un factor de incertidumbre en los resultados obtenidos, los cuales no son tan exactos como en un análisis cuantitativo.

El RBI cualitativo permite realizar un estudio guiado de la siguiente manera:

- a) Tomar el estudio de la unidad completa, por ejemplo la cadera en su totalidad sin detallar cada parte.
- b) Fraccionar el trabajo por áreas importantes de la unidad, por ejemplo en una caldera hacer un trabajo individual para quemadores, tuberías, cascos etc.

4.2.5.1. Categoría de la Probabilidad de Falla

Con el propósito de categorizar la probabilidad de falla, se recurre a la utilización de algunos subfactores, que permiten facilitar el análisis, estos son:

- Factor de equipo, cantidad de equipo (EF): Número de componentes que en la unidad presentan mayor tendencia a fallar. El EF se valoriza con un máximo de 15 puntos.
- Factor de daño: mecanismos de daño (DF): mide el riesgo ligado a los mecanismos de daño conocidos en la unidad (corrosión, grietas por fatiga, fuertes variaciones de temperatura, sobrepresiones). El DF presenta un valor máximo de 20 puntos.
- Factor de inspección: conveniencia de la inspección (IF): se presenta como un resultado de la eficiencia del programa actual de inspección que se

realiza sobre el equipo y la capacidad de determinar los mecanismos potenciales de daño de forma anticipada. Depende mucho del rigor con que se realicen las inspecciones, tiene un valor máximo de 15 puntos.

- Factor de condición: condición actual del equipo (CCF): describe la condición actual del equipo desde el punto de vista del mantenimiento y de los niveles económicos pues dependiendo de los daños potenciales se emiten los resultados de reparaciones que repercuten en costos para la empresa, este factor es resultado de la inspección visual. El CCF tiene una valoración máxima de 15 puntos.
- Factor de proceso: naturaleza del proceso (PF): evalúa el potencial de operación en las condiciones no óptimas del equipo, es decir en todas las paradas de la unidad, las programadas y las no programadas, lo que genera inconvenientes que repercuten en la pérdida de integridad. El PF es función directa del número de paradas, además del potencial para que fallen los dispositivos de seguridad. Presenta una estimación máxima de 15 puntos.
- Factor de diseño mecánico: diseño del equipo (MDF): representa la medida de seguridad en el diseño mecánico de la unidad; si ésta se encuentra bajo los estándares actuales y que tan único, complejo e innovador es el diseño. Igualmente se valora con un máximo de 15 puntos.

Para estimar el valor de la categoría de probabilidad de falla se debe sumar los factores anteriormente propuestos asignando una categoría de probabilidad según se presenta en la Tabla No2.

TABLA 2. Categorías en Probabilidad de Falla de RBI

FACTOR DE PROBABILIDAD	CATEGORÍA DE PROBABILIDAD
0-15	1
16-25	2
26-35	3
36-50	4
51-75	5

Fuente: API 581

4.2.5.2. Categoría de la Consecuencia

Un análisis de consecuencias se determina (según API 581) estableciendo dos factores importantes: Factor de consecuencia de daño y Factor de consecuencia para la salud.

El primer factor, de consecuencia de daño, depende básicamente de elementos que determinan la magnitud eventual de un incendio o una explosión. Los agentes relacionados con esta categoría son:

- a) **Factor químico:** Tendencia a encenderse (CF), el cual se deriva como una combinación entre la propiedad de destello del material y el grado de reactividad.

- b) **Factor de cantidad (QF):** Representa la cantidad de material (Libras) que se puede desprender ante un acontecimiento (explosión).

- c) **Factor de estado (SF):** Representa la medida de la capacidad de explosión en forma de vapor e un material, cuando existe un escape hacia la atmósfera. Se determina como el cociente entre la temperatura media del proceso y la temperatura de ebullición a la presión atmosférica (medidas en forma absoluta).

- d) **Factor de auto ignición (AF):** Mide la probabilidad de ignición del fluido o material de operación en un eventual escape a temperatura de escape, sobre la temperatura de auto ignición del mismo.

- e) **Factor de presión (PRF):** Mide la velocidad de escape del fluido.

- f) **Factor de crédito (CRF):** De gran utilidad para explicar las características de seguridad presentes antes, durante y después del proceso. Es un factor significativo en los niveles de reducción de consecuencias. Algunos aspectos del diseño y de operación que se incluyen en este factor son:

- Capacidad del personal a cargo de detectar fugas.
- Neutralización de las fugas en cuanto se presentan en la atmósfera.
- Niveles de seguridad en los dispositivos que controlan los peligros potenciales.
- Capacidades de aislamiento ante fugas o escapes.
- Protección de los equipos en caso de emergencias por incendio, es decir presencia de extintores, hidrantes entre otros.
- Sistemas de ventilación y venteo en óptimas condiciones.
- Ignifugación de estructuras e instalaciones eléctricas.

g) Factor potencial de daño (DPF): Mide el daño causado al equipo por medio de incendios o explosiones.

Combinando los factores anteriormente mencionados, se encuentra la categoría de consecuencia de daño en la unidad, asignando el nivel de la categoría como se muestra en la Tabla No 3.

TABLA 3. Categoría de Consecuencia de Daño RBI

FACTOR DE CONSECUENCIA	CATEGORÍA DE CONSECUENCIA
0-19	A
20-34	B
35-49	C
50-79	D
>70	E

Fuente: API 581

El segundo factor de consecuencia para la salud está relacionado con todos aquellos peligros potenciales que pueden afectar la salud de las personas antes, durante y después de la operación del equipo. Existe un modelo (API 581) que sirve como guía para determinar este tipo de consecuencias. Los elementos disponibles para este análisis son:

- a) **Factor de cantidades tóxicas (TQF):** Mide el grado de toxicidad de un material. Este se encuentra usando el factor de toxicidad indicado en la norma NFPA 704.

- b) **Factor de dispersabilidad (DIF):** Mide la capacidad de dispersión de una sustancia, la cual se determina directamente del punto de ebullición normal del material; cuanto más alto sea éste, menos probabilidad de dispersión presenta la sustancia.

- c) **Factor de crédito (CRE):** Útil para explicar las características de seguridad presentes durante el proceso. El crédito se utiliza para:
 - Capacidades de detección de materiales tóxicos.
 - Capacidad de aislamiento.
 - Sistema de evaluación.
 - Sistemas de mitigación de peligros.

d) **Factor de Población (PPF):** Representa un contador de las personas que pueden resultar afectadas por eventos potencialmente peligrosos.

Combinando los factores mencionados, se encuentra la categoría de la consecuencia según la Tabla 4.

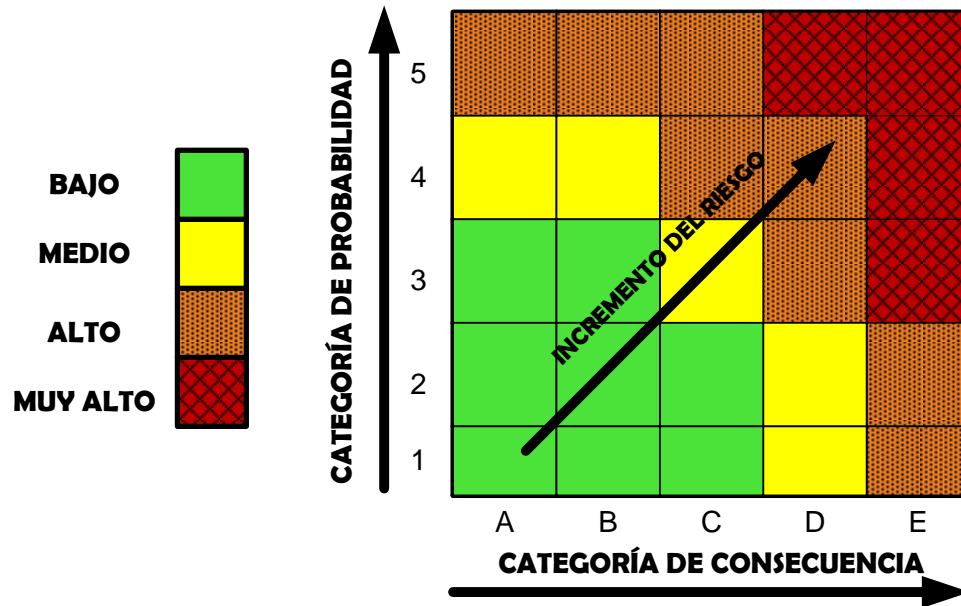
TABLA 4. Categoría de Consecuencia para la salud RBI.

FACTOR DE CONSECUENCIA	CATEGORIA DE CONSECUENCIA PARA LA SALUD
<10	A
10-19	B
20-29	C
30-39	D
>40	E

Fuente: API 581

De las categorías de la consecuencia referidas se selecciona la que corresponda al valor más alto (A = más alto, E= más bajo); los datos obtenidos se tabulan y se grafican en un diagrama de matriz de riesgo, en la cual sobre el eje horizontal se traza los valores de la categoría de la consecuencia y sobre el eje vertical la categoría de la probabilidad, el punto donde los valores se encuentren representa el grado de riesgo para la unidad.

FIGURA 9: Matriz de Riesgos RBI



Fuente: API 581

Las zonas más oscurecidas de la matriz, permiten conocer el grado de riesgo potencial. Cabe resaltar las áreas sombreadas no son simétricas, pues para cada caso en estudio el factor de la consecuencia es más crítico en la determinación del riesgo total que la componente de la probabilidad.

4.2.6. RBI Cuantitativo

Este tipo de análisis permite integrar en una metodología uniforme aquella información aparentemente relevante sobre: diseño del equipo, rutinas e historia de operación, confiabilidad de cada parte de la unidad, trabajos que sobre el

equipo el personal ha realizado, seguimiento a los accidentes producidos en operación, potencial ambiental y los efectos sobre la salud.

Aplicar esta técnica exige poseer información suficiente del Sistema y de las variables asociadas con su operación, para poder realizar los cálculos determinados con todos los factores que determinan la probabilidad de falla y así mismo cuantificar las consecuencias. Este proceso requiere más detalle y suele implicar unos costos mayores en su implementación, generalmente se aplica a parte de la infraestructura de sectores industriales de alto riesgo, como en el sector Hidrocarburos, que contienen fluidos cuyos

Las fugas en las máquinas mecánicas representan uno de los problemas de más consideración, pues de este evento se desencadena una serie de fallas que pueden resultar catastróficas para la unidad. La metodología RBI considera los escapes como una de las principales fallas y por eso hace un énfasis especial; según API 581, existen cinco (5) pasos diferentes que se estiman como consecuencia de una fuga.

- a) **Estimar la velocidad de la fuga o la cantidad de masa que se escapa:** las velocidades de una fuga, dependen de las características físicas del material y de las variaciones durante el proceso. Para cada fase existe una forma diferente de calcular este valor.

- b) **Selección del tamaño del agujero:** La metodología RBI, define los tamaños de agujero de escape como pequeño, mediano, grande y ruptura, utilizando generalmente cuatro (4) tamaños de agujero para los acontecimientos de escape, los cuales se presentan en la Tabla 5.

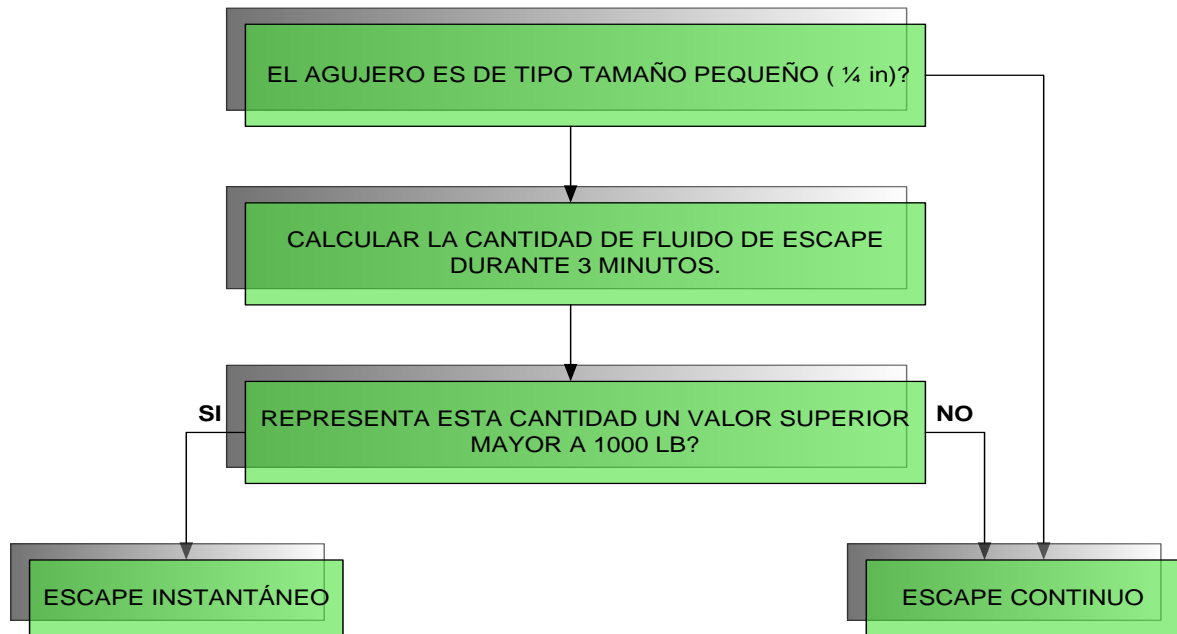
TABLA 5. Clasificación de agujeros de Fugas de acuerdo al tamaño, análisis RBI.

TAMAÑO DEL AGUJERO	RANGO	VALOR REPRESENTATIVO
PEQUEÑO	0 – ¼ in	¼ in
MEDIANO	¼ in – 2 in	1 in
GRANDE	2 in – 6 in	4 in
RUPTURA	>6 in	Diámetro nominal hasta un máximo de 16 in

Fuente: API 581

- c) **Descripción del tipo de escape:** En la metodología RBI se agrupan los escapes en dos géneros: Instantáneos, en el cual la mayor cantidad de fluido tiende a fugarse en periodos cortos de tiempo vaciando el contenido del recipiente o quedando muy poca cantidad, y continuos, que ocurre en largos periodos de tiempo, presentándose a velocidades relativamente constantes.

FIGURA 10: Proceso para determinar el tipo de escape en una Fuga



Fuente: API 581

- d) **Determinación de la fase final del fluido:** Dependiendo de la fase en la que el fluido fuga hacia la atmósfera se determinan sus características de dispersión. Si no existe cambio de fase al fluido al trabajar en las condiciones de operación, a las condiciones de ambiente, se determinan un tipo de consecuencias. Si por el contrario durante la fuga ocurre una variación en la fase la identificación de las consecuencias resulta un poco más compleja. Para determinar la fase final del fluido y los tipos de consecuencias, API diseñó una serie de pautas que se presentan en la tabla 6, a continuación.

TABLA 6. Determinación de la fase final del Fluido, luego de fuga.

FASE LÍQUIDA EN ESTADO ESTACIONARIO, CONDICIONES DE OPERACIÓN	FASE LÍQUIDA EN ESTADO ESTACIONARIO, CONDICIONES AMBIENTE	DETERMINACIÓN DE LA FASE FINAL PARA EL CÁLCULO DE CONSECUENCIAS
GAS	GAS	MODELAR COMO GAS
GAS	LÍQUIDO	MODELAR COMO GAS
LÍQUIDO	GAS	MODELAR COMO GAS A MENOS QUE EL PUNTO DE EBULLICIÓN DEL FLUIDO EN CONDICIONES AMBIENTE SEA MAYOR A 80°F, DESPUÉS DE ESTE PUNTO, MODELAR COMO LÍQUIDO.
LÍQUIDO	LÍQUIDO	MODELAR COMO LÍQUIDO.

Fuente: API 581

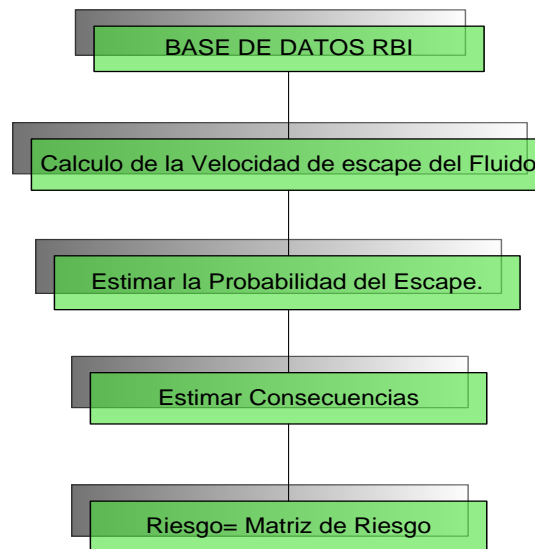
- e) **Determinación de la Mitigación:** Cuando se presenta una fuga, es fundamental realizar un análisis de los parámetros importantes, duración del escape y la reducción de la expansión en la atmósfera de materiales peligrosos, esto con el propósito de reducir o mitigar las consecuencias causadas por el deterioro. En este proceso se requiere control sobre los dispositivos de seguridad, aislamiento o control de fugas y dispositivos de mitigación sobre materiales tóxicos, como ejemplo dispersores de agua.

El proceso de **Análisis de Probabilidad de Falla** inicia con la recopilación de datos disponibles de las frecuencias de fallas presentadas por la unidad. Estas frecuencias genéricas son modificadas según el factor de modificación del equipo y el factor de evaluación de los sistemas de gestión, con el fin de rendir una falla ajustada.

4.2.7. RBI Semicuantitativo

Este proceso permite la descripción de cualquier acercamiento que tenga aspectos derivados de los procesos cualitativo y cuantitativo, obteniendo las ventajas principales de cada uno (como lo es la velocidad de aplicación del cualitativo y el rigor del cuantitativo). Los datos usados para la aplicación de la metodología pueden ser utilizados para la metodología cuantitativa.

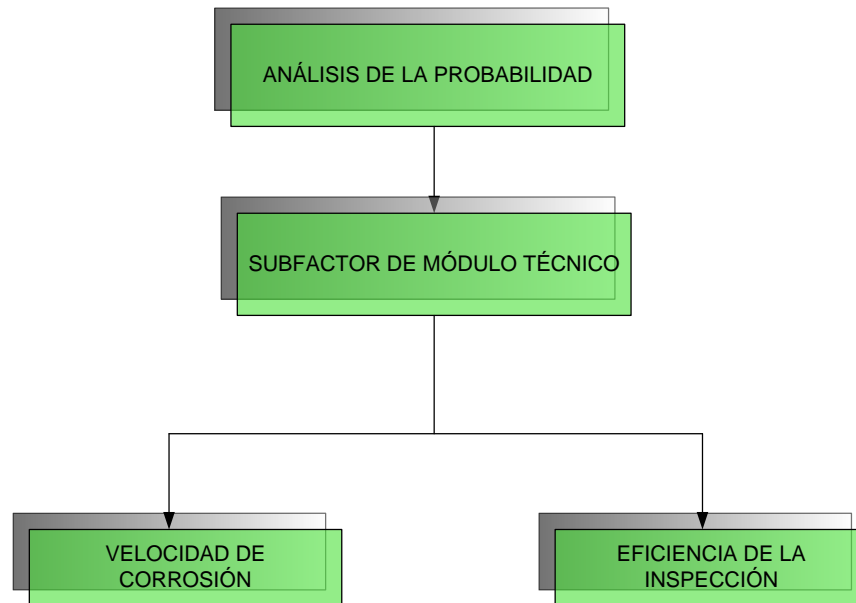
FIGURA 11: Análisis RBI Semicuantitativo



Fuente: API RP 581

La descripción del análisis de Probabilidad de Falla es similar a la realizada en un análisis cuantitativo, pero en el acercamiento semicuantitativo solo se incluye el subfactor módulo técnico. La figura 12 ilustra el análisis de probabilidad de falla del enfoque semicuantitativo.

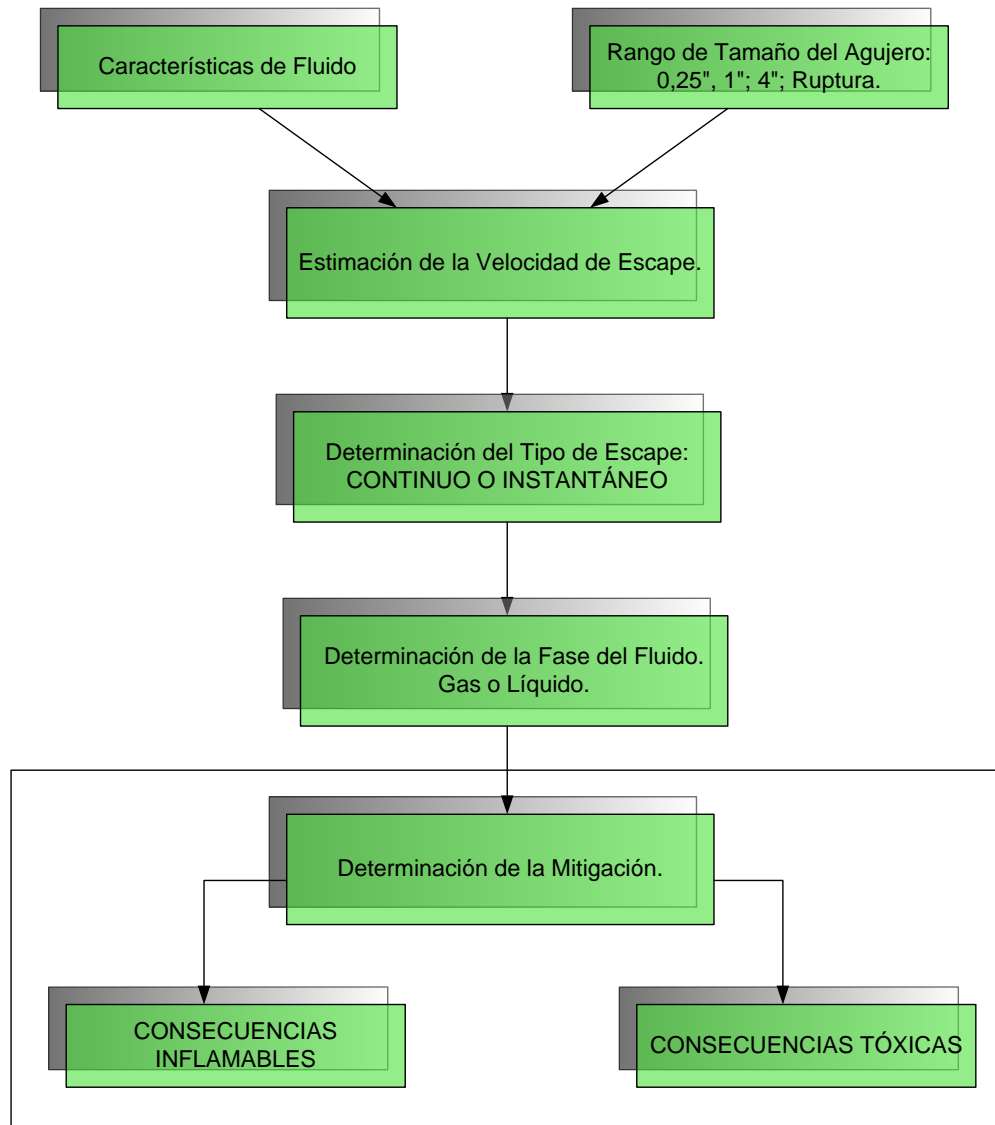
FIGURA 12: Descripción Análisis de Probabilidad de Falla



Fuente: API RP 581

Para el acercamiento semicuantitativo en el análisis de consecuencias se realiza de forma similar a un análisis cuantitativo, con la diferencia de que solo incluye las consecuencias inflamables y las tóxicas. En la figura se presenta el proceso para obtener un acercamiento en análisis de consecuencias semicuantitativo, se presenta el esquema en la figura 13.

FIGURA 13: Análisis de Consecuencias, RBI Semicuantitativo



Fuente: API RP 581

Luego de realizar el estudio de consecuencias y probabilidad se procede a tabular y graficar en una matriz de riesgos los factores mencionados, al igual que se presentó en el enfoque cualitativo.

4.3. TÉCNICAS DE INSPECCIÓN

Permite planear, definir y realizar aquellas actividades necesarias para localizar el deterioro en servicio de la unidad antes de que se presenten las fallas donde las probabilidades fueron altas, después de aplicar RBI.

Los tipos de daño representan aquellas características que impiden el funcionamiento óptimo de la unidad, que son posibles de detectar mediante una técnica de inspección. Algunos mecanismos de daño conocidos son la Corrosión, la Fatiga Mecánica y Térmica, las Fisuras ocasionadas por concentradores de esfuerzo, entre otras. API RP 581 tabula algunos tipos de daño y sus características presentados en la Tabla 7.

TABLA 7. Tipo y Características de Daño.

TIPOS DE DAÑO	DESCRIPCIÓN
Reducción (Incluye: General, Localizada, picaduras)	El desgaste del material de una o más superficies puede ser general o localizado.
Agrietamiento Conectado Superficial.	Agrietamiento superpuesto en más de una superficie de metal.
Agrietamiento Superficial	Agrietamiento debajo de la superficie del metal.
Formación de Microfisuras/Microvacíos.	Grietas microscópicas o vacío debajo de la superficie del metal
Cambios Metalúrgicos	Cambios en la microestructura del metal
Cambios Dimensionales	Cambios en el dimensionamiento físico u orientación de un objeto.
Ampollamiento	Ampollas inducidas por hidrógeno formando inclusiones en el metal
Cambios en las propiedades del material	Cambios en las características del materiales.

Fuente: API 581

El daño en el equipo puede presentarse de forma uniforme o puntual, dependiendo del mecanismo que se presente. Si el daño se presenta de forma uniforme, permite un examen y una evaluación sobre cualquier punto del área de la pieza, pues los resultados esperados pueden representar la condición total del equipo. Por otro lado si el daño que se presenta es localizado, la inspección requiere de un mayor esfuerzo, puede implicar que se realice en un área mayor para asegurar la detección del daño. Si el mecanismo de daño está suficientemente identificado de manera que permita la predicción de las localizaciones en donde ocurrirá, el esfuerzo de la inspección puede centrarse en esas áreas.

Para lograr una búsqueda eficiente de daños, se deben seleccionar las técnicas de inspección, según la fortaleza de cada una para determinar el tipo de daño al que se enfrente, sin embargo el mecanismo que origina el daño puede afectar la selección de la técnica de inspección. La norma API RP 581, presenta algunas de estas técnicas con una categorización de eficiencia para cada técnica, dependiendo del tipo de daño, en la Tabla 8 se presenta esta clasificación. Así mismo la norma API presenta una clasificación de los mecanismos de daño por categorías amplias, ANEXO 1.

TABLA 8. Eficiencia de las técnicas de inspección para varios tipos de daños

Técnica de inspección	Reducción	Agrietamiento conectado a superficie.	Agrietamiento Subsuperficial	Formación microfisuras y microvacíos	Cambios Metalúrgicos	Cambios Dimensionales	Ampollamiento
Inspección Visual	1 - 3	2 - 3	X	X	X	1 - 3	1 - 3
Haz recto ultrasónico	1 - 3	3 - X	3 - X	2 - 3	X	X	1 - 2
Onda cortante ultrasónica	X	1 - 2	1 - 2	2 - 3	X	X	X
Partículas magnéticas fluorescentes	X	1 - 2	3 - X	X	X	X	X
Líquido penetrante	X	1 - 3	X	X	X	X	X
Emisión acústica	X	1 - 3	1 - 3	3 - X	X	X	3 - X
Corriente de Eddy	1 - 2	1 - 2	1 - 2	3 - X	X	X	X
Salida de Flujo	1 - 2	X	X	X	X	X	X
Radiografía	1 - 3	3 - X	3 - X	X	X	1 - 2	X
Medidas dimensionales	1 - 3	X	X	X	X	1 - 2	X
Metalografía	X	2 - X	2 - 3	2 - 3	1 - 2	X	X

1= ALTAMENTE EFICAZ 2 = MODERADAMENTE EFICAZ 3= POSIBLEMENTE EFICAZ X= NO USADO NORMALMENTE

Fuente: API 581

La frecuencia de inspección depende directamente de los siguientes factores:

- Mecanismo de daño y tipo de daño (grietas, adelgazamientos, etc.).
- Velocidad de propagación del daño.
- Tolerancia que presenta el equipo al daño.
- Probabilidad de detectar el daño y de predecir sus estados futuros con técnicas de inspección.

Los resultados de una inspección se deben presentar de forma que sea posible utilizarlos como variables en la evaluación de la vida remanente del equipo y los futuros planes de inspección, así como también para ser utilizados en la comparación o validación de los modelos que pudieron ser utilizados para la determinación de la probabilidad de falla.

Una vez realizada la inspección, se necesita aplicar algunas actividades con el fin de mitigar los riesgos que no fueron posibles de tratar adecuadamente en el desarrollo del plan de inspección. Dentro de las acciones requeridas posteriores a la inspección que ocasionalmente pueden requerirse y no se encuentran contempladas en están:

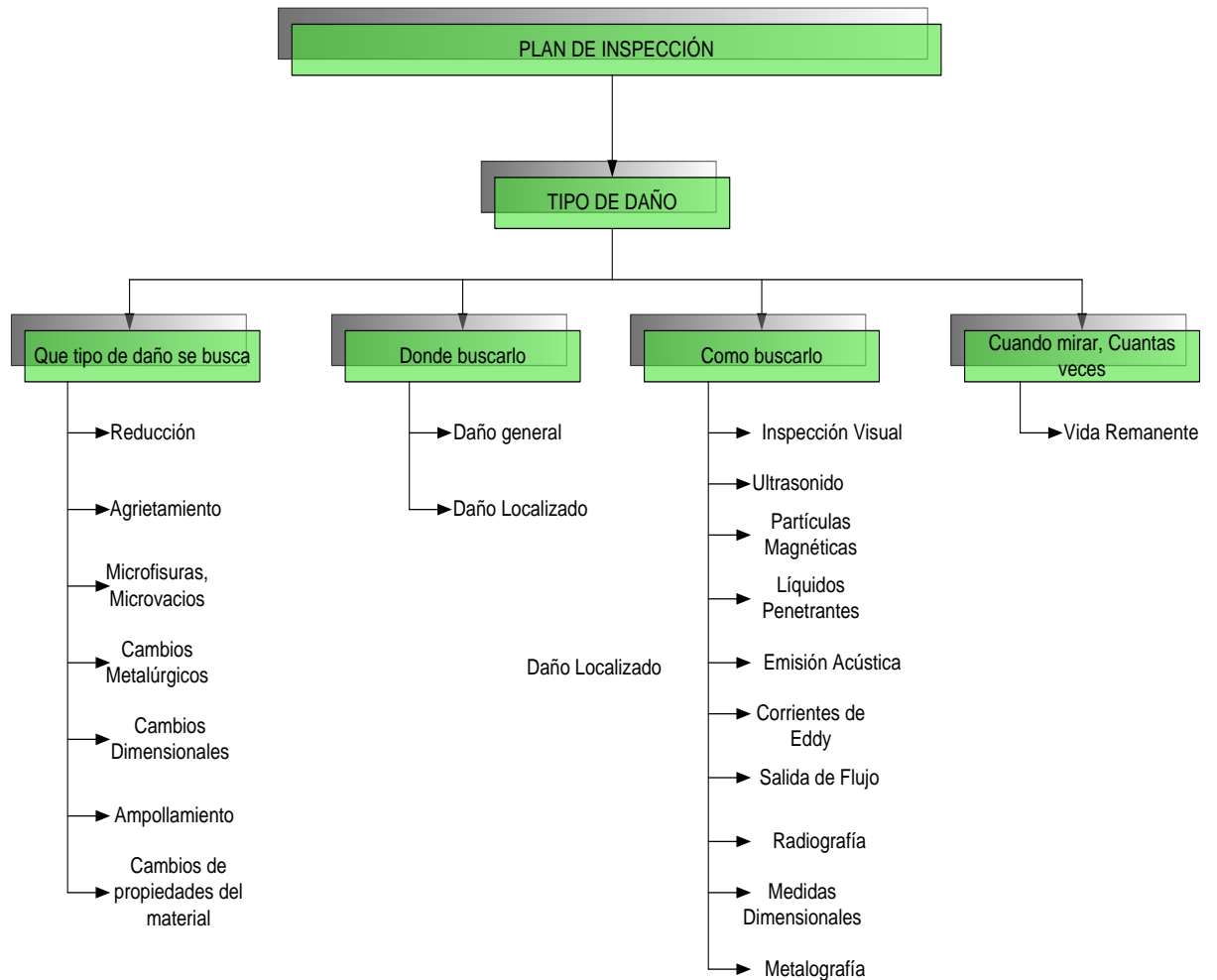
- **Reemplazo y reparación de equipos:** Cuando la falla se vuelve inmanejable a un nivel inaceptable, el reemplazo/reparación es frecuentemente la única manera de tratar el riesgo.
- **Actitud de servicio:** Una valoración de actitud para el servicio, puede ser realizada para determinar si el equipo es apto para funcionar con seguridad evaluando las condiciones e informando por cuánto tiempo se debe hacer. Este tipo de análisis también permite determinar el grado de severidad del defecto para tenerlo en cuenta en inspecciones futuras y determinar que reparaciones se requieren.
- **Rediseño y modificación del equipo:** Es una de las alternativas para mitigar la probabilidad de falla. Dentro de estas actividades se puede mencionar:

- Cambio de metalurgia.
 - Adición de capas protectoras.
 - Retiro de Deadlegs (sección de tubería que se utiliza solo en servicio intermitente, tal como arranques y paradas).
 - Aumento de corrosión permitida.
 - Cambios físicos que ayudarán a controlar y reducir el deterioro.
 - Mejoras en los sistemas de aislamiento.
 - Cambios de diseño.
- **Modificación del proceso:** Representa una solución aceptable, ya que el proceso puede ser la fuente primaria de consecuencias de riesgo, por ejemplo:
- Reducción de temperaturas por debajo del punto de ebullición a presión atmosférica.
 - Sustitución por fluidos menos peligrosos.
 - Uso de procesos continuos, en lugar de operaciones variables.
 - Diluir las sustancias peligrosas

La técnica RBI representa una herramienta dinámica que proporciona evaluaciones de riesgo actuales y futuras. Sin embargo estas evaluaciones se basan en datos y conocimientos, según el transcurso en la operación de la unidad, los cambios en ella son inevitables y los resultados de la valoración deben ser actualizados con el

propósito de asegurar la información más reciente del mantenimiento y del proceso.

FIGURA 14: Descripción del Plan de Inspección



Fuente: API RP 581

5. PROGRAMAS DE TRABAJO

De acuerdo a la metodología diseñada, esta etapa de Programas de Trabajo contempla la organización de las actividades que deben ejecutarse para soportar la integridad de la Caldera Piro-tubular, a través de los Planes de Acción resultado del diagnóstico y evaluación de riesgos.

Las principales acciones de inspección y mantenimiento estarán dirigidas a controlar las variables que presentaron mayor impacto en el riesgo dada su probabilidad de falla y/o altas consecuencias potenciales.

5.1. PLAN DE INSPECCIONES

Para ejecutar la inspección relativa a una Caldera Piro-tubular, se genera en el marco de esta Metodología un Programa en el cual se verifican las condiciones de la instalación y funcionamiento del equipo, detallando los diferentes componentes. Se diseña un formato de inspección inicial que permite la revisión de características importantes, en el cual se evaluará el cumplimiento o no (conformidad) de las condiciones estándar para operar con seguridad.

Los requerimientos y especificaciones contempladas para las calderas se evalúan a partir del cumplimiento de las afirmaciones a continuación:

Disposiciones Locativas de la Caldera

- Local de caldera exclusivo para alojar la unidad y equipos auxiliares.
- Pisos, techos y paredes completamente limpios
- Existe drenaje ubicado en el piso
- Distancia entre propiedades, habitaciones, vías públicas, depósitos de combustible a la caldera mínimo 3 mt.
- Altura de local (piso- techo) mínimo 3 mt.
- Altura de techo a válvulas o accesorios mínimo de 1 mt.
- Ventanillas de ventilación y combustión de área equivalente a 1/10 del área de local de caldera.
- Iluminación de local de caldera adecuado. Mínimo 150 luxes.
- Base de caldera construida en material incombustible, de mínimo 10 cm de altura.
- Presencia de extintor de incendio multipropósito, con fácil acceso, ubicado a mínimo 1,5 mt del suelo.
- Existe aviso de prohibición de entrada a particulares.
- Dispone de llegadas de aire canalizadas mínimo de 10 cm² / Kw
- Área disponible para suministro de aire mayor a la capacidad nominal de entrada de quemadores.
- Existencia de sistemas de iluminación alternos para caso de emergencia.
- Local de calderas no se encuentra ubicado bajo talleres, sitios de trabajo o vivienda
- No existe almacenamiento de combustible en local de calderas

- Elementos para control de incendio se encuentran en estado óptimo y ubicados en sitio fijo, de fácil acceso y libre de obstáculos
- Local presenta señalización de vías de evacuación.
- Sensor de alarma sonora y visual de detección de fugas o escapes.
- Calderas mayores a 500 Kw deben disponer de dos salidas de emergencia, situadas en lados opuestos.

Chimenea de Caldera Piro-tubular

- Construida en lámina de acero con espesor mínimo de 3 mm
- Área de salida de gases en extremo de chimenea mayor que área de salida de gases de caldera
- Presenta curvas fuertes y tramos horizontales
- Mantiene combustión estable, adecuada velocidad y evita la salida de llamas, chispas y hollín
- Cumple con valores de emisiones mínimas autorizadas.
- Diseño regido por Norma Colombiana sismo-resistente NSR-98
- Presenta caperuza que impide filtración de agua
- Presenta orificios accesibles para efectuar mediciones de temperatura y análisis de gases
- Altura superior a 2 mt por encima de construcciones presentes en un área de 10 mt
- No hay presencia de fugas o escapes a lo largo del ducto

Sistema de Almacenamiento de Combustible

- El combustible se confina en Tanques adecuados
- Tanque construido en lámina de acero de espesor adecuado para capacidad de almacenamiento
- Posee conexión de venteo, llenado, drenaje con tapón, descarga e indicación de nivel.
- Posee conexión a tierra.
- Tiene instalada placa metálica de identificación sobre la superficie.
- Presenta símbolo de identificación de riesgo de incendio
- Presenta conexión a tierra, con resistencia menor a 5 ohm
- Posee tubo de alimentación desde la parte superior hasta el fondo del tanque o hasta mínimo nivel de contención
- Cumple con medidas de protección contra rayos.
- Base de tanque construida en material no inflamable.
- Posee abertura de acceso para mantenimiento y limpieza.
- Presenta conexión para el recibo, salida y retorno de combustible.
- Posee conexión para indicador de nivel y temperatura
- Presenta conexión para operación de venteo
- Presenta conexión para drenaje de agua y sedimentos.
- Tanque mayores a 3.785 litros, deben presentar válvulas de presión y vacío
- Presenta sistema de control de rebose de combustible
- Presenta reporte de prueba de hermeticidad
- Posee indicador para llenado máximo visual o audible

- No presenta alimentación por gravedad desde otro tanque superior
- Tanque con capacidad inferior a 1.000 lt, se encuentra ubicado a 1.5 mt de linderos públicos
- Tanque mayor a 1.000 lt, se encuentra ubicado fuera del recinto de la caldera.
- Distancia del tanque a superficie de caldera o tuberías de vapor mayor o igual a 2 mt
- No cuenta con indicadores visuales de vidrio
- Tanques con capacidad superior a 1.000 lt, cuenta con dique para control de derrames, con capacidad mayor o igual a 1.5 veces la capacidad del tanque.

Controles de la Caldera

- Presenta control de agua.
- Presenta control de presión de vapor.
- Presenta control de temperatura.
- Presenta control de suministro de combustible
- Presenta control de combustión, programación del encendido y seguridad de llama.

Indicadores de la Caldera

- Cuenta con indicador de nivel de agua

- Cuenta con indicador de presión de vapor.
- Cuenta con indicador de temperatura de vapor.
- Cuenta con indicador de nivel de temperatura de gases.

Dispositivos de Seguridad

- Presenta válvulas de seguridad.
- Presenta válvulas de cierre rápido para corte de combustible.
- Alarmas e Interruptores de seguridad presentes.
- Tablero de control disponible.
- Sistema de agua de alimentación presente.
- Válvulas, tuberías, y accesorios en buen estado.

Dispositivos de Control

- Suministro de agua automático, con su respectivo control.
- Sistema de corte de combustible automático.
- Nivel de agua mínimo se encuentra a 5 cm por encima de la última hilera superior de los tubos internos.
- Accionamiento de alarma en punto de nivel de agua máximo y mínimo.
- Cámara de agua presenta drenaje vertical, no menor de 19.05 mm de diámetro
- Cámara de agua ubicada en punto más bajo que permite su limpieza

- Presenta segunda protección que corta suministro de combustible, como soporte al primer sistema.
- Presenta como mínimo un dispositivo automático de presión, tarado a un valor menor que la presión máxima de trabajo.
- Posee válvula manual para corte de combustible.
- Manómetro instalado antes de la válvula reguladora con rango mínimo de 2 veces la presión de la red de suministro.
- Válvula de regulación de presión acorde con especificaciones del quemador.
- Manómetro instalado después de la válvula reguladora con rango mínimo de dos veces la presión del quemador.
- Presenta válvula de seguridad en la línea del quemador.
- Presenta sensor de llama.
- Posee interruptor para alta presión del gas con reajuste manual.
- Presenta segunda válvula de seguridad de cierre rápido.
- Posee interruptor por baja presión de gas.
- Presenta temporizador de prepurga.
- Válvula solenoide de corte de gas para piloto de encendido.
- Posee piloto de encendido.
- Presenta sistema de ignición de tipo eléctrico, asociado al detector de llama e integrado al sistema de purga del gas combustible de la cámara de combustión.
- Presenta filtro para aceite combustible.
- Posee bomba para suministro de combustible directo al quemador

- Presenta indicador de presión en la descarga de la bomba de combustible.
- Posee válvula de cierre rápido que interrumpe el paso de combustible al quemador.
- Presenta sistema de retorno de combustible al tanque, accionado por válvula solenoide.

Controles de combustión, programación de encendido y seguridad de llama

- Dispone de control de llama, que controla desde el arranque y durante el funcionamiento normal del equipo.
- Presenta interruptor que verifica la presión adecuada del aire.
- Se dispone del certificado de conformidad del tren de regulación para uso de gas natural.
- Los venteos están dispuestos hacia la atmósfera exterior.
- Tuberías de acero al carbono SCH 40 protegidas contra corrosión mediante pintura tipo epóxica de color amarillo (ICONTEC 3458).
- Tren de gas firme y con aislamiento.
- Tuberías roscadas para diámetro menor a 50.8 mm con presión menor a 34,5 Kpa y caudal menor a 50 m³ / hr.
- Tubería soldada y con uso de bridas para diámetro mayor a 50.8 mm.
- Tren de gas soldado presenta prueba de hermeticidad.
- Tuberías soportadas mediante anclajes libres de esfuerzos mecánicos y dinámicos, sobre elementos estructurales fabricados en perfil de acero.

- Tubería fijada mediante abrazaderas metálicas aisladas eléctricamente, permitiendo desplazamiento axial de la tubería.
- La distancia mínima entre tubería y caja de fusibles, interruptor o tuberías con otros servicios es de 20 cm.
- No cuenta con tubería paralela a cables de energía eléctrica
- No cuenta con tuberías soportada en bandejas útiles como soporte de cableado eléctrico
- No hay presencia de tuberías cerca de chimeneas, zonas de alta temperatura, materiales inflamables
- Tubería de venteo de combustible líquido es de hierro forjado o acero SCH 40.
- Tubería de venteo menor a 65 mm puede ser de bronce o cobre.
- Tubería de conexión al quemador de diámetro mayor a 9.5 mm
- Tubería de cobre de espesor mínimo de 0.89 mm
- Tubería para combustible líquido, puede ser roscada hasta un diámetro de 50 mm.
- No cuenta con accesorios contruidos en hierro fundido
- Línea de retorno desde el quemador o descarga de la bomba al tanque de suministro presente.
- La línea de retorno desde el quemador o descarga de la bomba no presenta válvulas u obstrucciones
- Tubería de succión de la bomba de combustible es hermética.

Dispositivos Indicadores (Manómetros)

- Manómetro instalado en el lado vapor de la columna de agua o en la línea de salida de vapor.
- Son visibles, de fácil acceso y lectura
- Escala del manómetro en bares; presenta graduaciones visibles de $1 \frac{1}{2}$ a $3 \frac{1}{2}$ veces el ajuste de la válvula de seguridad.
- Su diámetro es mayor o igual a 10 cm
- Conexión con la caldera mayor a 12.7 mm de diámetro, con válvula de cierre dispuesta en la tubería de conexión.
- La tubería de conexión al manómetro presenta sifón para sello de agua y prevención de daño por temperatura de vapor.

Dispositivos Indicadores (Termómetros)

- Termómetro que sensa la temperatura del agua, en el lugar próximo a la salida de la caldera.
- Se encuentra ubicado en lugar de fácil acceso y lectura.
- Escala del termómetro con graduaciones visibles de $1 \frac{1}{2}$ a 2 veces la máxima temperatura de salida del agua de la caldera. (Ajustada en grados °C)

Dispositivos Indicadores (Nivel de Agua)

- Presenta mínimo un indicador de nivel de agua de vidrio.

- Está unido a la columna de agua o caldera por medio de niple mayor a 12.7 mm
- Presenta marca de nivel permisible mínimo de agua, visible todo el tiempo.
- Nivel de agua en la parte inferior del vidrio mayor a 25 mm por encima del mínimo nivel de agua recomendado.
- Diámetro de tubería que conecta la columna de agua al control de nivel de la caldera, mínimo de 25 mm
- Únicamente regulador de nivel de agua, indicador de presión de vapor y purga manual pueden estar unidos a la columna de agua.
- No presenta válvulas de bloqueo en las líneas de conexión
- Válvulas de drenaje en ángulo recto, en la parte baja de la caldera para limpieza.
- El tubo de drenaje de la columna de agua no debe ser menor de 19 mm
- Mínimo diámetro de sifón 6.35 mm

Dispositivos de Seguridad (Válvulas)

- Dispone como mínimo de una válvula de seguridad.
- Caldera con superficie de calentamiento mayor a 50 m², presenta dos o más válvulas de seguridad.
- Presenta placa de identificación clara e imborrable.
- Especificaciones de válvula presentes en manual de caldera.
- Instalada cerca al domo de caldera, en posición vertical y de manera directa sin obstrucciones.

- Capacidad para descarga de totalidad de vapor.
- Si presenta dos válvulas de seguridad, no deben estar ajustadas a la misma presión.
- Conexiones con cuerpo de caldera deben ser cortas, con diámetro adecuado para la descarga.

Dispositivos de Seguridad (Alarmas)

- Presenta alarma por bajo nivel de agua.
- Presenta alarma por corte de combustible.

Dispositivos de Seguridad (Interruptores)

- Interruptor para bloqueo en altas o bajas presiones de gas al quemador.
- Interruptor para bloqueo en baja presión de líquido combustible.

Sistema de Alimentación de Agua

- Presenta sistema de alimentación de agua y de corte de combustible, que actúa con la señal de nivel de agua.
- Suministro a través de tubería corta entre la bomba y el cuerpo de la caldera, con válvula cheque.
- No cuenta con alimentación directa de agua de red pública

- Diámetro de tubería del sistema de alimentación de agua igual al diámetro del orificio de la caldera dispuesta para la alimentación de agua. Para calderas de más de 190 Kw diámetro mínimo de 19mm.
- Capacidad de la bomba mínimo 1.5 veces la capacidad de evaporación a plena carga.
- Presión de descarga de la bomba mínimo 3% mayor a la presión de ajuste de cualquier válvula de seguridad, más el valor por pérdidas.
- Caldera con superficie de transferencia de calor superior a 50 m², debe disponer de por lo menos dos bombas de alimentación independientes.
- Instalación de manómetro en la descarga de las bombas.
- Puerto de descarga de la tubería de alimentación a la caldera, permite nivel de agua por encima del nivel mínimo permitido dentro de la caldera.
- Bomba de accionamiento automático
- Presenta tanque de condensados o tanque de agua de alimentación con volumen suficiente para cubrir requerimientos a máxima capacidad operando durante 15 minutos.

Conexiones y Dispositivos para Tanque de Agua

- Conexión para retorno
- Conexión para ventilación
- Conexión para suministro de agua con regulador de suministro
- Conexión para rebose.
- Conexión para drenaje.
- Conexión para succión de la bomba

- Indicador de nivel de agua.
- Indicador de temperatura.
- Distancia entre tubería de drenaje y conexión de purga por la parte inferior mayor o igual a 30 cm.
- Desfogues no deben descargar sobre vías de circulación de personal.
- Desfogues no drenan directamente a la red de aguas negras

A partir de estos cuestionamientos se generó un Programa de Inspección General, para aplicar en una evaluación de cualquier Caldera Piro-tubular instalada. Este documento se encuentra presente en el ANEXO 2, fue diseñado de forma general para que cada empresa pueda adoptarlo y personalizarlo de acuerdo a su política y a su sistema de gestión de información y documentación.

5.2. PLAN DE MANTENIMIENTO

Para diseñar un mantenimiento adecuado se evaluaron diferentes factores y una de las principales consideraciones es que debe estar orientado desde la operación de la Caldera, es decir que todas las acciones que se realicen al Equipo deben realizarse con conciencia de cuidado y conservación tanto para las instalaciones como para el proceso, y de esta manera se pueden reducir un porcentaje los riesgos presentes.

Con esta visión la operación y el mantenimiento van de la mano, por eso las actividades de revisión y aseguramiento deben implementarse constantemente en la utilización del equipo.

En el marco de la Metodología se plantea un Programa para Mantenimiento que cuenta con actividades señaladas para frecuencias diferentes de Mantenimiento Programado y su respectivo registro. El plan de operación y mantenimiento se debe desarrollar con actividades diarias, semanales, mensuales, trimestrales, anuales. ANEXO 3.

Es muy importante la organización de actividades para implementar en el dispositivo, el registro y seguimiento a las mismas y el manejo del cambio, dado que un sistema y/o proceso no puede depender de las personas involucradas. En esta orientación se quiere dejar constituido unos registros fundamentales para realizar el control y seguimiento de los trabajos.

Se diseñó un formato para una Orden de Trabajo, ANEXO 4, en la cual se solicita permiso para intervención en la Caldera, se indican las actividades a realizar, la prioridad, el motivo, la información relacionada con la ejecución de las tareas, entre otras cosas. Este documento será el soporte a través del cual la persona responsable conoce y autoriza las intervenciones, y en el cual quedan los registros de lo realizado.

Por otro lado, la seguridad para la operación de las calderas se realiza desde tres puntos diferentes: la fuente (el equipo), el medio y la persona. El estudio de la fuente se realiza a través del diagnóstico de probabilidad de falla y nivel de riesgo, en el cual se implementan las acciones para minimizar las posibilidades de falla. La evaluación del medio se realiza a través de la Inspección en donde se observan las instalaciones y los recursos asociados a seguridad presentes en las mismas como alarmas, sistemas de incendios, etc. El punto de seguridad en la persona recomienda fundamentalmente es la utilización de Elementos de Protección Personal constantemente.

A pesar de estas precauciones, considerando que en muchos casos no todas las acciones correctivas y de mejora son implementadas por presupuesto, existe latente la probabilidad de una falla y/o accidente por la operación del equipo. En esta dirección se plantean igualmente unos formatos para garantizar las investigaciones respectivas y la posterior seguridad a los acontecimientos presentados. Se realizó una Guía de Análisis de Fallas, ANEXO 5, un Formato para Reporte de Accidentes, ANEXO 6, y un Formato para Registrar la Investigación del Accidente, ANEXO 7.

5.3. EVALUACIÓN DE PROGRAMAS DE INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO

Este último módulo es sencillamente la revisión de las acciones implementadas, por una parte valorar el cumplimiento a las actividades requeridas después de un

diagnóstico y una inspección general y por otro lado evaluar la eficiencia de las actividades de inspección y mantenimiento a lo largo del tiempo.

Este módulo podrá ser implementado en la medida que los Planes de Acción sean ejecutados de acuerdo a las evaluaciones respectivas.

Esta metodología basada en una estrategia de trabajo cíclica, debe alimentarse constantemente cuando las actividades para minimizar el riesgo y cumplir con los requerimientos de operación se realicen. En este momento se medirá la eficacia de los planes de mantenimiento comparando los resultados de su nuevo diagnóstico con el inicial y podrá evaluarse el impacto.

Eficacia de los Planes de Acción:

$$(1 - \frac{\text{Resultado Diagnóstico No 2}}{\text{Resultado Diagnóstico Inicial}}) \times 100 = \% \text{ de Reducción del Riesgo}$$

Por último un indicador que necesariamente va a medir la efectividad de las acciones implementadas es el número de fallas presentadas en el sistema en un periodo específico. En el caso de la Caldera, se propone una frecuencia anual para obtener resultados de la implementación de la Metodología cada año. Esta cifra igualmente deberá seguirse cada periodo y podrá ser comparable entre un año y otro, observando la disminución del indicador si las actividades desarrolladas son efectivas.

6. METODOLOGÍA PARA EVALUACIÓN DE CALDERAS

El diseño de este proyecto, que nace de una problemática manifiesta en la región de deficiencias en los mantenimientos y conservación de Calderas Pirotubulares de alto riesgo, se contempla para implementar en la Universidad Industrial de Santander, que cuenta con un dispositivo de éstos en la División de Bienestar Universitario para los servicios de Comedores.

En este marco al iniciar las actividades de este trabajo, uno de los pasos más importantes era involucrarse con las instalaciones y conocer el funcionamiento del sistema alrededor del Equipo, bajo lo cual se solicita permiso y se presenta la propuesta a la División de Mantenimiento Tecnológico, unidad de la UIS responsable de su mantenimiento. El proyecto fue de gran interés, razón por la cual fue aprobado, así como manifestaron su compromiso con apoyar las acciones relacionadas con éste, ANEXO 14.

Tomando como base la Metodología desarrollada en el proyecto se aplicaron los módulos, a partir de actividades “no intrusivas” en el equipo para dejar una valoración y unas acciones sugeridas a la Universidad que requieren técnicas especializadas y presupuestos asociados.

6.1. DIAGNÓSTICO

Para emitir un diagnóstico sobre las condiciones actuales de la caldera, se hace necesario conocer el ambiente donde se desarrolla el proceso y las características del equipo, tener información de los accesorios con los que cuenta para llevar a cabo el proceso, así como también los índices que permiten a la división de mantenimiento realizar el mantenimiento de la unidad.

6.1.1. Descripción de la Unidad

La metodología propuesta se desarrollará en la división de Bienestar Universitario de la UIS, sección Comedores, donde se encuentra ubicada la caldera pirotubular marca Continental modelo E52C30C-2G, la cual produce vapor que es utilizado por las marmitas y lavadoras. Dichas unidades tienen un perfil de consumo de vapor medio respecto a la capacidad de la caldera. Las especificaciones técnicas se encuentran tabuladas en la Tabla 9.

La caldera no cuenta con un sistema de registro de datos que permita evaluar su rendimiento a través del tiempo. A pesar de las tecnologías con las que cuenta la UIS, no se ha solicitado el uso de analizadores de gases para la caldera y no se tiene control sobre la forma como el equipo viene realizando el proceso de combustión.

TABLA 9. Especificaciones Caldera Continental – UIS.

CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO CALDERA CONTINENTAL	
Modelo	E52C30C-2G
Operación	On-Off con arranque a fuego bajo
Capacidad	30 BHP = 295 Kw
Generación a 212 °F	1.035 Lb / hr
Presión de trabajo máxima	150 psig
Presión de prueba hidrostática	225 psig
Combustible	ACPM y gas natural o propano
Piloto	ACPM y Gas
Atomización (ACPM)	Por presión
Tanque retorno de Condensado	60 Galones
Motobomba alimentación de agua	6 GPM

Fuente: Recopilada por Autor

La caldera no cuenta con reportes históricos de mantenimiento ni controles de parámetros operacionales, tampoco se tiene disponible un archivo de reparaciones. No cuenta con formatos de registros de falla, hoja de vida de la unidad, orden de trabajo. Se encontró un formato general con nombre “Control de Mantenimiento de la Caldera” que se inició para realizar seguimiento de las actividades de mantenimiento realizadas, sin embargo este documento no se ha

administrado nuevamente y los pocos registros que se hicieron fueron en el mes de marzo del 2009, ANEXO 15.

La empresa que fabricó la caldera, hizo entrega de una manual de operación y mantenimiento, pero luego de una revisión se encontró que éste no es práctico para el personal encargado de la operación y el mantenimiento del equipo; cuenta en gran parte con texto en inglés, es complejo y extenso para ser estudiado por personal técnico.

La caldera presenta dos posibilidades para uso de combustible ACPM y Gas Natural, presenta los siguientes accesorios:

- Control de combustión electrónico con programador y detector de llama.
- Contactor electromagnético para comando de ventilador con protección de sobrecarga y bajo voltaje.
- Transformador de ignición: demanda, llama apagada y nivel bajo de agua.
- Encendido gas-eléctrico.
- Termómetro de chimenea dial.
- Cuerpo de presión aislado en lana de vidrio y recubierto con lámina.
- Silenciador de soplador.
- Puerta de acceso delantera y trasera, abisagradas.
- Mirillas de observación de llama ubicada en la parte delantera y trasera de la caldera.
- Quemador de tiro forzado.

- Control de límite de presión de vapor.
- Columna de agua completa con vidrio nivel, grifos prueba y válvulas de purga.
- Control de nivel de agua de emergencia por medio de electrodo sumergido.
- Manómetro indicador de presión de vapor con grifos de corte, sifón y drenaje.
- Grifos de prueba.
- Circuitos de alimentación de agua, compuestos por válvula de globo y válvula cheque conectadas en la línea con el deflector de flujo interno de la caldera.

La línea de combustible de gas natural cuenta con:

- Regulador de presión de gas para piloto.
- Válvula de corte de gas para piloto.
- Válvula solenoide piloto.
- Boquilla para piloto.
- Presóstato para control de presión alta de gas.
- Boquilla de alimentación de gas al quemador.
- Válvula de bola para corte de gas.
- Dos válvulas solenoides de cierre positivo.
- Válvula solenoide normalmente abierta para descarga de gas a la atmósfera.

El cuarto de caldera se encuentra ubicado en el costado oeste del edificio de Bienestar Universitario de la UIS, el cual no cumple con las especificaciones técnicas requeridas para la instalación de estos equipos.

Como se trata de una unidad automática, la caldera se enciende a las cinco de la mañana, labor que realiza el Técnico (Almacenista) de Bienestar Universitario, quien solo se encarga de activar el interruptor para el encendido, la caldera se mantiene encendida hasta las cinco de la tarde, pero en ningún momento (en este lapso de tiempo) se hace una visita para verificar el óptimo funcionamiento de la unidad.

6.1.2. Identificación de Riesgos

La determinación y descripción de los riesgos que puedan presentarse y provocar una pérdida o disminución de la eficiencia de un proceso, o lo que resulta más grave, una lesión personal, representa el paso previo a su mitigación o eliminación. Si esto no es posible, es preciso evaluarlos para de esta manera tomar las medidas que sean necesarias para disminuir la probabilidad de que se materialicen.

En esta etapa se definen los mecanismos de acumulación de daño y las áreas en que estos son potencialmente más activos, además de la forma de daño que de ellos se espera.

Es fundamental que se logre la identificación de riesgos con el propósito de permitir que la unidad proyecte un óptimo funcionamiento durante la mayor parte de su ciclo de vida, lo cual se ve reflejado tanto en la calidad de la producción como en economía de la empresa.

Dentro de los objetivos de la identificación de riesgos, se encuentra proteger la vida, la salud y la seguridad humana, animal, vegetal, la protección del medio ambiente, la protección de las instalaciones físicas, prevenir prácticas que permitan inducir al usuario a cometer errores graves. Una caldera implica riesgos debido al diseño, a la fabricación defectuosa, a las instalaciones inadecuadas, a las defectuosas prácticas de operación, entre otros.

Como parte de esta metodología se plantea un procedimiento con el fin de facilitar la identificación de los riesgos que puedan presentarse antes, durante y después de la operación de calderas tipo pirotubular. La tabla 10 presenta los riesgos más representativos en las calderas con la correspondiente identificación, sus consecuencias y las formas de prevención.

Es muy importante tener presente que el análisis de riesgo considera la evaluación de planes actuales de inspección, de esta manera puede definirse una nueva planificación, tomando en cuenta los riesgos que están relacionados con el tipo y efectividad de inspección. Un programa de inspección basada en riesgo puede emplearse para optimizar las evaluaciones por medio del análisis de las probabilidades y consecuencias de falla, de esta manera pueden analizarse con

mayor interés las zonas más críticas o los lugares que presenten mayor probabilidad de daño.

TABLA 10. Riesgos en Calderas Piro tubulares

IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS EN CALDERAS PIROTUBULARES.			
FACTOR DE RIESGO	RIESGO	CONSECUENCIA	PREVENCIÓN
Válvula de Seguridad	Explosión o Incendio	Lesión física, muerte, pérdidas de bienes materiales, lucro cesante, contaminación ambiental	Válvulas certificadas y de correcta selección y diseño, inspecciones periódicas, calibración anual.
Tratamiento de Agua	Explosión o Incendio, enfermedad profesional, quemaduras, accidentes por contaminación ambiental.	Sobrecalentamiento, corrosión, incrustación, sedimentos, picaduras, escapes, accidentes por enfermedad profesional, pérdida de producción, lucro cesante, daño de equipos.	Aplicar tratamiento químico tanto externo como interno adecuados a los requerimientos de la caldera.
Escape de Combustible	Explosión o Incendio	Lesión física, muerte, pérdidas de bienes materiales, lucro cesante, contaminación ambiental	Válvulas certificadas y de correcta selección y diseño, inspecciones periódicas, calibración anual.
Contaminación Ambiental	Enfermedad profesional, contaminación sobre recurso aire, tierra, agua.	Sobre la salud pública, sobre recursos materiales y la economía sobre el patrimonio cultural.	Cumplimiento de normas ambientales, implementación de medios y métodos de control, uso de combustibles limpios.
Control de nivel de agua	Implosión, rotura de tuberías y componentes de presión.	Lesiones físicas, lucro cesante, pérdida de producción, pérdida de bienes materiales.	Controles certificados, revisión periódica de elementos, disposición de alarmas, calibraciones y ajustes periódicas, buenas prácticas operativas.
Prácticas operativas inadecuadas o mantenimiento nulo o deficiente.	Enfermedad, accidente, incendio, explosión, contaminación atmosférica.	Lesiones físicas, accidentes, lucro cesante, pérdida de producción, pérdida de bienes materiales, daño de equipos y/o instalaciones.	Personal capacitado, seguir recomendaciones de fabricantes, revisiones periódicas, diseño de planes de mantenimiento, calibraciones por personal capacitado, repuestos y materiales certificados, dispositivos de seguridad y regulación calibrados.
Inspecciones deficientes o No realizadas.	Enfermedad, accidente, incendio, explosión, contaminación atmosférica.	Enfermedad profesional, lesiones físicas, pérdidas de producción, pérdida de bienes materiales, daño de equipos e instalaciones.	Personal capacitado, seguir recomendaciones de fabricantes, revisiones periódicas, diseño de planes de mantenimiento, calibraciones por personal capacitado, repuestos y materiales certificados, dispositivos de seguridad y regulación calibrados.

Fuente: Propuesta Reglamento Técnico Colombiano para Calderas

Para el análisis de la caldera Continental de Bienestar Universitario de la UIS, se ha decidido realizar un análisis cualitativo el cual se aplicará teniendo en cuenta la norma API RP 581, pues se busca un método que sea muy práctico, rápido y eficiente; además se tiene en cuenta que el personal encargado de la operación y mantenimiento del equipo no cuenta con la capacitación adecuada para realizar otro tipo de análisis tal como lo es el análisis cuantitativo o semicuantitativo, cuya rigurosidad exige personal capacitado en la toma de datos y un proceso basado en pruebas de laboratorio, las cuales no son de interés por parte de la organización.

6.1.3. Análisis Cualitativo de Riesgos

El análisis de riesgo que se realiza en forma cualitativa de acuerdo a la norma API 581, como se mencionó en la teoría de RBI del Capítulo 4, se fundamenta en el uso de tablas, las mismas que sirven para categorizar el nivel de riesgo en la matriz que determina el nivel actual de riesgo en el que se encuentra el equipo.

El análisis de riesgo de todo el equipo, en forma cualitativa se desarrolla a continuación:

Categoría de Probabilidad

Para determinar el valor correspondiente a la probabilidad de falla, se indican los distintos factores a los que se les debe asignar un valor de puntaje, el mismo que

sirve para determinar el valor correspondiente a la probabilidad. Los resultados se dan en la tabla 11.

TABLA 11. Probabilidad de Falla Caldera UIS

FACTOR DE PROBABILIDAD	PUNTAJE
Factor de Equipo	15
Factor de Daño	15
Factor de Inspección	0
Factor de Condición	0
Factor de Proceso	10
Factor de diseño mecánico	15
TOTAL	55
Categoría	5

Fuente: Autor

Los valores se determinaron según las siguientes conclusiones:

- Factor de equipo: Se valora con 15 puntos, ya que todos los componentes están en riesgo continuo de falla; la unidad trabaja 12 horas diarias continuas y no se presenta un plan de inspección favorable, lo que no permite determinar el estado real del equipo.
- Factor de daño: la caldera pirotubular de bienestar universitario de la UIS, por su condición de operación diaria y continua, presenta mecanismos de

daño debido a que no existe la aplicación de tratamientos químicos al agua de alimentación lo que produce corrosión y picaduras, no se lleva un monitoreo de los parámetros de presión y temperatura, lo que ocasiona variaciones en estos dos parámetros. Es por esta razón que se valora con 15 puntos.

- Factor de inspección: debido a que no se aplica ningún tipo de inspección sobre la unidad y no se tiene ningún control para determinar los mecanismos potenciales de daño se valora con un puntaje de 0.
- Factor de condición: desde el punto de vista del mantenimiento y los niveles económicos que éste presenta, se concluye un puntaje de 0 puntos, ya que a la unidad en dos años de servicio solo se le ha realizado un mantenimiento cuando cumplió un año de producción, no se halló ningún reporte del estado en que se encontraron las partes de la caldera, solo algún archivo fotográfico que muestra que después de una año de servicio, la caldera presentaba ya grandes puntos de corrosión. Desde el punto de vista económico también se concluye la deficiencia del proceso, ya que el costo del mantenimiento fue alto.
- Factor de proceso: en la unidad de producción de vapor de bienestar Universitario de la UIS, no se han encontrado informes sobre paradas no programadas; la única parada programada fue realizada el día 19 de mayo

de 2009, donde se le realizó un mantenimiento del cual solo se reportaron algunas fotografías, por estas razones se evalúan con un puntaje de 10.

- Factor de diseño mecánico: La caldea pirotubular Continental presenta un diseño aprobado por ASME. Se evalúa con un puntaje de 15.

De acuerdo a la tabla de determinación de la probabilidad de falla, la probabilidad de falla de la caldera pirotubular marca continental de Bienestar Universitario de la UIS es de 5.

Categoría de Consecuencia

Para determinar la categoría de las consecuencias, basado en la norma API RP 581, se realizó el siguiente análisis:

- Factor químico: la tendencia de encendido de los combustibles que son usados para el proceso (gas y ACPM) es alta, lo que permite una consecuencia alta.
- Factor de Cantidad: En la eventualidad de una explosión, la cantidad de material que puede desprenderse, teniendo en cuenta el vapor que produce, y las partículas de material que la unidad puede desprender la consecuencia es catalogada como alta.

- Factor de estado: en la eventualidad de explosión, la probabilidad de que los materiales de la caldera destellen como vapor a la atmósfera es baja.
- Factor de autoignición: la probabilidad de autoignición del vapor que se produce durante el proceso es baja, pero se tiene en cuenta que los combustibles usados para efectuarlo tienen índices de autoignición altos, combinando las dos posibilidades se tiene un nivel de consecuencias medio.
- Factor de presión: debido a la presión que se maneja durante el proceso, un eventual escape se produciría un escape de tipo intermitente, ya que ésta es de 75 psi. Se considera esta categoría como media.
- Factor de crédito: Las características de seguridad durante el proceso de producción de vapor, son deficientes debido a la falencia que se presenta en cuanto a las labores de inspección y mantenimiento, no existe una política de mantenimiento diario, semanal, mensual; solo se ha elaborado una inspección y limpieza anual, el personal no está capacitado, no hay procesos de chequeo ni acompañamientos del proceso. el personal que se ha venido encargando de la operación de la unidad, solo cumple con la labor de encender y apagar el equipo.

Combinando los factores anteriormente mencionados, se encuentra la categoría de consecuencia de daño en la unidad, asignando el nivel de la categoría como se muestra en la Tabla 12.

TABLA 12. Categoría de Consecuencia Caldera UIS

CATEGORÍA DE CONSECUENCIA	PUNTAJE
Factor Químico	10
Factor de Cantidad	28
Factor de Estado	5
Factor de Autoignición	7
Factor de Presión	5
Factor de Crédito	15
TOTAL	63
Categoría	E

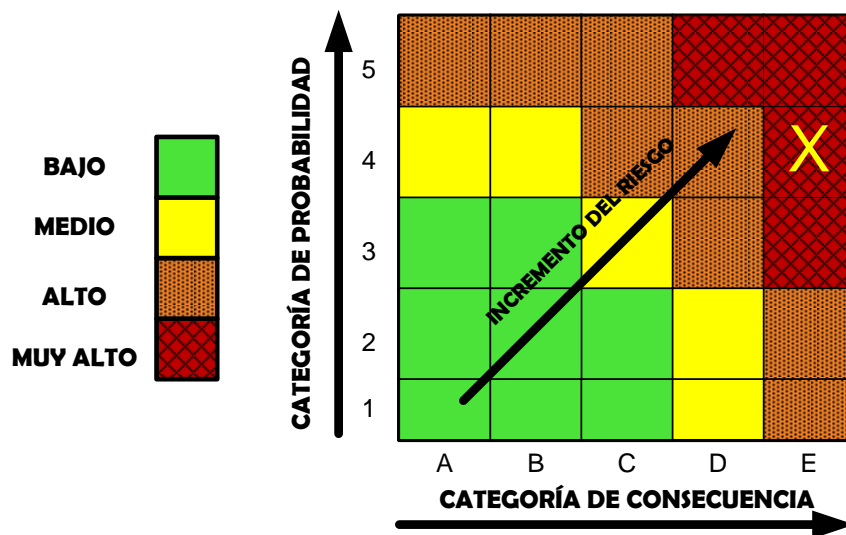
Fuente: Autor

Determinación del Riesgo

Obtenido el valor de la probabilidad y el valor de la consecuencia, se los relaciona en la matriz de riesgo Figura 15 para obtener el valor correspondiente al nivel de riesgo en que se encuentra todo el equipo que se analiza. Como se obtuvo un valor de probabilidad de 4 y un valor de consecuencia nivel E, el nivel de riesgo

asociado al equipo es 4E, el mismo, que de acuerdo a la matriz indicada y la norma API 581, señala que el equipo se encuentra en un nivel de riesgo muy alto.

FIGURA 15: Matriz de Riesgo Caldera UIS



Fuente: Autor

El análisis cualitativo predice que la caldera Piro-tubular marca Continental de Bienestar Universitario de la UIS, presenta un riesgo muy alto, sustentado en los deficientes programas de inspección y mantenimiento que realiza el departamento encargado de dicha labor; el resultado es bastante negativo si se tiene en cuenta que la caldera solo presenta un año y medio de servicio.

6.2. PROGRAMAS DE INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO

Después de haber elaborado los formatos y programas de trabajo, Se implementaron los Programas desarrollados en la Metodología y se adaptaron para la aplicación permanente en la Universidad Industrial de Santander.

Primero se realizó una inspección general, siguiendo el formato de diagnóstico, del cual se sacaron algunas conclusiones respecto a la instalación y operación de la unidad:

- Los pisos del local presentan un alto grado de suciedad, además dentro del recinto se alojan canecas, tubería chatarrizada, implementos de aseo ubicados en cualquier parte que presentan obstáculos en las vías de tránsito de personal.
- Existe una pared que presenta una grieta grande, lo cual permite el debilitamiento del muro. Se visualiza que la estructura no está lo suficientemente firme como para resistir una explosión.
- Existe desfogue en el suelo, pero no es lo suficientemente amplio como para evitar una inundación en el recinto, además de presentar suciedad.
- La distancia entre el piso y el techo es de 2.50 mt, la sugerencia en el RTC es de 3 mt.
- Como medio de combate de incendios, existe un extintor de polvo seco, ubicado al interior del local, el cual permanentemente se encuentra cerrado con llave, es decir que el acceso al extintor no es muy bueno. La distancia

mínima del piso al extintor debe ser de 1,50 mt, éste está ubicado a 1,30 mt.

- No existe un segundo sistema de combatir incendios.
- A la entrada del local de la caldera, no existe un aviso donde se restrinja el paso de particulares.
- Sobre el local donde se aloja la caldera, está ubicado un pasillo de paso continuo de personas, lo cual representa un alto riesgo ante una posible explosión de la unidad.
- El tanque de ACPM se encuentra ubicado en el mismo local de la caldera, sin que los separe ningún dispositivo.
- El local no presenta una vía de evacuación confiable, ya que las distancias entre la unidad y las paredes del local son muy pequeñas, los espacios son muy estrechos.
- La chimenea no presenta orificio para realizar análisis de gases, sería posible realizarlo, desconectando el indicador de temperatura de los gases de escape.
- La chimenea no cumple con la altura establecida, debe estar 2 mt. Por encima de la última construcción vertical presente en 10 mt alrededor de la unidad. Se encuentra a la misma altura del edificio de bienestar universitario de la UIS.
- El indicador de nivel del tanque de ACPM se encuentra demasiado sucio, lo cual imposibilita su correcta lectura.

- El tanque donde se recolecta la sustancia desalojada del tanque durante la purga, no es el apropiado, ya que es demasiado pequeño en relación al volumen del tanque.
- El tanque de almacenamiento de ACPM no posee conexión a tierra, no posee palca metálica de identificación, no se conoce con exactitud su capacidad, solo se estima en 600 galones.
- El RTC exige que el tubo de alimentación de combustible al tanque llegue hasta el fondo, en el tanque de alimentación de la caldera de bienestar universitario de la UIS, no es posible verificar esta distancia, ya que no existe la forma de hacerlo.
- El tanque de combustible no posee orificios para realizar labores de limpieza y mantenimiento.
- A la salida del tanque de alimentación de ACPM, no existe indicador de temperatura.
- El tanque de almacenamiento de combustible, presenta un indicador visual más no audible. RTC exige que debes estar disponibles los dos indicadores.
- No se tiene el documento de prueba de hermeticidad del tanque de almacenamiento de combustible.
- Si el tanque de combustible realmente es de 600 galones (2272 litros), no puede ubicarse en el mismo recinto donde funciona la caldera, además de no cumplir con la distancia mínima a la caldera que debe ser de 2 mt, están ubicados a 1,60 mt.

- Como la capacidad del tanque es de 2272 litros, debe presentar dique para control de derrames, no está presente.
- Algunas de las tuberías presentan señales de corrosión.
- Dentro de la información que entregó el fabricante de la caldera, no se recibió el certificado de conformidad del tren de regulación para gas natural, el cual debe estar presente.
- Las tuberías que viajan por el piso, no cuentan con anclajes (abrazaderas metálicas) las cuales deben estar presentes, para evitar que la tubería se doble o sufra algún tipo de daño.
- Dado a que el local de la caldera es bastante estrecho, las tuberías se encuentran próximas entre sí, y con los ductos de vapor de alta temperatura.
- La válvula de seguridad no presenta placa metálica de identificación, no se conoce su presión de abertura.

El personal que se encuentra al frente de la caldera de Bienestar Universitario de la UIS, no es el más apto para realizar esta labor, ya que su trabajo está en otra dependencia, son los empleados de la división de Bienestar Universitario los que han estado encargados de encender y apagar el equipo y no se encuentran capacitados para realizar acciones si se presentara alguna anomalía en la operación de la unidad. Las deficiencias que se encuentran son resultado de la desinformación que se presentó en el momento de la instalación de la unidad.

El más alto riesgo que presenta la operación de la unidad, está representado por mala ubicación donde está instalado el equipo, ya que se encuentra debajo de una plataforma de paso de personas y muy cerca al comedor y la cocina del edificio de Bienestar Universitario de la UIS, donde en las horas de desayuno, almuerzo y comida se encuentran más de 300 personas; una eventual explosión de la caldera, permitiría muchas lesiones físicas en el personal que allí se encuentra.

Se encontró que existe una falla en los canales de comunicación entre la división de Bienestar Universitario y la división de Mantenimiento Tecnológico, pues las solicitudes para reparaciones y mantenimiento no son claras y ninguno asume el control completo sobre la unidad. Las inconformidades que se encontraron en es la evaluación se encuentra en el Anexo 8 soportado con imágenes que se presentan el anexo

6.3. RESULTADO DE IMPLEMENTACIÓN

Ante la probabilidad de que el gobierno nacional apruebe el Reglamento Técnico de Calderas “RTC” se recomienda a la División de Mantenimiento Tecnológico, que asuma los cambios que debe realizar en la instalación de la caldera ubicada en el edificio de Bienestar Universitario de la UIS, estos cambios son la respuesta a las no conformidades que se encontraron en la inspección que se presentó y cuyos resultados se muestran en el Anexo 8.

Tal vez el cambio más significativo a realizar, es la reubicación del local de la caldera por el peligro potencial que representa ante una posible explosión.

Para lograr un funcionamiento y desempeño óptimo de la unidad, se ha realizado entrega a la división de bienestar universitario y a la división de mantenimiento tecnológico, los programas de inspección y mantenimiento, los formatos para registro periódico de operación y así controlar el funcionamiento de la unidad, formato de orden de trabajo para facilidad de la comunicación y las actividades a realizar entre las dos divisiones, además de tener un control y conocimiento sobre las mismas, el formato para la hoja de vida de la caldera, formato de seguimiento de fallas de calderas pirotubulares para que los operarios logren identificar rápidamente la acción que deben tomar ante la presencia de estas.

Se realiza una socialización de la metodología con las dos divisiones, para dar conocimiento del procedimiento y las acciones correctivas que se deben tomar para disminuir el riesgo que presenta la unidad y se recomienda a las dos divisiones continuar aplicando la metodología para permitir una operación más eficiente y disminuir el grado de riesgo que se presenta.

7. CUMPLIMIENTO DEL PROYECTO

El proyecto de la Metodología desarrollada en este trabajo de grado e implementada en la Caldera Piro-tubular de la División de Bienestar Universitario, de la Universidad Industrial de Santander – UIS, se planteó con unos objetivos iniciales. El cumplimiento final del proyecto se puede evaluar a través del cumplimiento de cada uno de los objetivos como se muestra en la Tabla 13.

TABLA 13. Cumplimiento de los objetivos del Proyecto

OBJETIVO GENERAL	CUMPLIMIENTO
Contribuir con la Misión de la Universidad Industrial de Santander para brindar apoyo a la industria regional para liderar procesos de cambio, optimización y mejora continua de sus operaciones productivas, al desarrollar una metodología para la evaluación de integridad y extensión de vida útil de Calderas Piro-tubulares, basada en inspección y mantenimiento, e implementarla a la caldera marca Continental de la UIS que opera en la división de Bienestar Universitario.	<p>Se refleja el cumplimiento del Objetivo general a través del cumplimiento de los Objetivos específicos del proyecto.</p> <p>El proyecto se implementó en la Universidad Industrial de Santander para lo cual se trabajó en conjunto con la División de Mantenimiento Tecnológico y Bienestar Universitario.</p>

OBJETIVO ESPECÍFICO	CUMPLIMIENTO
<p>Diseñar una metodología para evaluación de integridad de un dispositivo industrial, como la Caldera Piro-tubular, a través de módulos de diagnóstico, inspección y mantenimiento, que favorezcan la extensión de su vida útil.</p>	<p>Se realiza una evaluación de conceptos, se plantea la estructura de la Metodología en tres (3) módulos y se estudian las técnicas para desarrollo de los mismos en los capítulos 2, 3 y 4.</p>
<p>Documentar planes de Inspección, Seguridad y Registro de Fallas de Calderas Piro-tubulares, a través de manuales, procedimientos y formatos que garanticen el aseguramiento de la información y el seguimiento a las actividades desarrolladas.</p>	<p>En el Capítulo 5 se generaron los documentos asociados a los Planes o Programas de Trabajo de la Metodología, para Inspección y Mantenimiento de forma general, que dan cumplimiento a este objetivo durante el desarrollo del proyecto.</p>
<p>Implementar la metodología diseñada, con los planes correspondientes, en la Caldera Piro-tubular de la Universidad Industrial de Santander localizada en Bienestar Universitario, trabajando de la mano con la División de Mantenimiento Tecnológico</p>	<p>En el Capítulo 6 se describen las actividades realizadas específicamente en la Caldera de la UIS, en el marco de la aplicación de la Metodología diseñada en este proyecto, alcanzando todos los objetivos propuestos en él.</p>

La documentación y las herramientas de la implementación generadas en el proyecto fueron entregadas a la División de Mantenimiento Tecnológico de la Universidad Industrial de Santander y al personal de la División de Bienestar Universitario; para su conocimiento, implementación y seguimiento. **ANEXO 16.**

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Se pudo conocer a fondo, el estado actual y el nivel de riesgo de la caldera pirotubular ubicada en el edificio de Bienestar Universitario de la UIS, así como el proceso de operación que se presenta en esta unidad, realizando una recopilación de fallas comunes para establecer programas de identificación en estos dispositivos.
- Para el diseño de la metodología se realizó un estudio de las normas internacionales que rigen la construcción, mantenimiento, operación y reparación de elementos de presión, API RP 581 y ASME sección VIII.
- Basado en la norma API 581, se determinó la criticidad de la unidad, a través de un análisis cualitativo, obteniendo un grado de riesgo para la caldera muy alto, sustentado en la probabilidad de lesiones físicas que puede causar ante una explosión.
- Al no tener conocimiento la división de Bienestar Universitario de la UIS del nivel de riesgo que presenta la unidad, se hace un gran aporte en la concientización de la importancia que tiene realizar los cambios que se proponen para minimizar los riesgos.

- Se realiza un aporte importante para la división de mantenimiento tecnológico y de Bienestar Universitario de la UIS pues se realizaron módulos entregables de seguimiento periódico de operación, modelamiento de fallas comunes y esperadas, programas de inspección y mantenimiento que hacen parte de la metodología propuesta, útiles para la extensión de vida útil de la caldera que opera en el edificio de Bienestar Universitario de la UIS.
- Mediante la metodología propuesta se garantiza la evaluación de integridad de calderas pirotubulares, ya que se tienen en cuenta los aspectos más importantes en la operación de estas unidades.
- Se tuvo conocimiento del documento “Reglamento Técnico de Calderas” nacional, el cual presenta los requerimientos para la instalación y operación de calderas en el país.
- Mediante el desarrollo de la metodología propuesta, se brinda apoyo a la industria local liderando procesos de cambio, conservación, optimización y mejora de las operaciones productivas. Se presenta como una importante herramienta de evaluación de integridad, la cual por su sencillez es de fácil aplicabilidad en las pequeñas y medianas empresas que así lo soliciten, las cuales no tendrán inconvenientes cuando entre a regir el RTC.

- Por su utilidad y sencillez, la implementación de la metodología en calderas diferentes permitirá hacer un acercamiento a los requerimientos del ministerio de protección social para poder mantenerlas en operación.
- Se recomienda a la división de mantenimiento tecnológico y de bienestar universitario, realizar una inversión en capacitación de un técnico como operador e inspector de calderas, con el que ya no dependerá de contrataciones externas para realizar las labores de inspección, mantenimiento y reparación de la unidad las cuales son altamente costosas.
- Se recomienda el mantenimiento y continuidad de la metodología propuesta para alcanzar la madurez, realizando un trabajo conjunto entre los integrantes de la división de Bienestar Universitario y Mantenimiento tecnológico de la UIS, lo que permite el fortalecimiento de las relaciones y mejora de los procesos.

BIBLIOGRAFÍA

- **AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE.** Risk Based Inspection. First Edition. Washington D.C. API 2002. 60 p. API RP 580.

- **AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE.** Risk Based Inspection Base Resource Document. First Edition. Washington D.C. API 2000. 333 p. API RP 581.

- **THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS.** Boiler and Pressure Vessel code. Rules for Construction of Power Boiler. Section VIII. New York: ASME 2004. 748p

- **INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN.** Compendio : Tesis y otros trabajos de grado. Bogotá : ICONTEC,2004.

- **DUARTE HERRERA, Diego Alexander.** Estructuración del programa de confiabilidad para líneas de proceso conforme a la metodología de Inspección Basada en Riesgo (RBI) para la GBC. Tesis de grado. Universidad Industrial de Santander UIS; Bucaramanga 2006, 202p.

- **HERAZO AGUAS, Mauricio Manuel.** Programa de Inspección basada en el riesgo (RBI) del sistema de tubería de la unidad de generación de Hidrógeno de la planta de parafinas de la GRB–Ecopetrol. Tesis de grado. Universidad Industrial de Santander UIS; Bucaramanga 2009, 206p.

- **MUÑOZ ARIZA, Aider de Jesús, PIESCHACÓN NIÑO, Mario.** Estructuración de la etapa de planeación conducente a la evaluación de integridad de una caldera acuotubular. Tesis de grado. Universidad Industrial de Santander UIS; Bucaramanga 1995, 180p.

- **MACAL PEREZ, Fidel.** Análisis térmico de la caldera pirotubular marca power master modelo 54. Trabajo de Graduación. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala 2005. 116p.

- **ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIEROS ELECTRICISTAS, MECÁNICOS, ELECTRÓNICOS Y AFINES.** III seminario nacional de diseño mecánico e inspección de equipos. Cartagena 1994. 208p

- **MARTINELLI, Luis Carlos.** Geradores de vapor. 241p

- **CALDERAS CONTINENTAL LTDA.** Manual de Operación y mantenimiento. Bogotá DC 2000. 80p

- **MINISTERIO PROTECCIÓN SOCIAL.** Reglamento Técnico de Calderas “RTC”

ANEXOS

ANEXO 1. Clasificación de los Mecanismos de Daños por Categoría

Clasificación por categorías amplias establecidas en la Norma RP API 581.

MECANISMO DE DAÑO POR CORROSIÓN	
1. Corrosión por ácido Clorhídrico (HCl)	15. Corrosión por Hipoclorito de Clorina/Sodio
2. Corrosión por Cloruros Orgánicos	16. Corrosión bajo aislamiento/infugación
3. Corrosión por Cloruros Inorgánicos	17. Corrosión por Agua de Enfriamiento.
4. Corrosión por Sulfuro Orgánico	18. Corrosión Atmosférica
5. Sulfidación por H ₂ / H ₂ S	19. Corrosión de Suelo
6. Corrosión por CO ₂	20. Oxidación por alta Temperatura
7. Corrosión por Ácido Nafténico	21. Corrosión caliente
8. Corrosión por Agua Ágría	22. Corrosión Humo
9. Corrosión por Ácido Sulfúrico	23. Corrosión Galvánica
10. Corrosión por Ácido Hidrofluórico	24. Corrosión bajo Depósito
11. Corrosión por Fenol/NMP	25. Corrosión Biológica
12. Corrosión por Ácido Fosfórico	26. Corrosión en Puntos de Inyección
13. Corrosión Caústica	27. Corrosión Agua de Caldera Condensada
14. Corrosión por Amoniaco	28. Corrosión por punto de condensación (Dewpoint) de Humo

MECANISMO DE DAÑO STRESS CORROSION CRACKING
Amina
Amoniaco
Soda Caústica
Carbonato
Cloruro
Ácido de Politionico
Fragilidad por Metal-Líquido
Ácido Hidro-Fluórico
Corrosión por Fatiga

MECANISMO DE DAÑO INDUCIDO POR HIDRÓGENO	
MECANISMO DE DAÑO	TIPO DE DAÑO
Ampollamiento	Ampollamiento, agrietamiento subsuperficial, agrietamiento conectado a la superficie, cambios dimensionales
Agrietamiento, inducido por Hidrógeno incluyendo etapas de agrietamiento	Agrietamiento Subsuperficial, agrietamiento conectado a la superficie.
Agrietamiento, inducido por Hidrógeno orientado por tensión	Formación de micro fisuras y micro vacios, agrietamiento subsuperficial, agrietamiento conectado a superficie.
Agrietamiento por tensión por sulfuro.	Agrietamiento conectado a la superficie.
Agrietamiento por tensión por cianuro	Agrietamiento conectado a la superficie.
Hidruro	Agrietamiento Subsuperficial, agrietamiento conectado a la superficie, cambios metalúrgicos
Ataque por Hidrógeno	Formación de micro fisuras y micro vacios, agrietamiento, cambios metalúrgicos.
Fragilización por Hidrógeno	Agrietamiento conectado a la superficie, cambios en las propiedades.

MECANISMOS DE DAÑOS MECÁNICOS	
MECANISMO DE DAÑO	TIPO DE DAÑO
Erosión por Sólidos	Reducción
Erosión por Goteo	Reducción
Cavitación	Reducción
Desgaste por Deslizamiento	Reducción
Fatiga Térmica	Agrietamiento conectado a la superficie y subsuperficial
Fatiga por Corrosión	Agrietamiento conectado a la superficie
Ruptura por Tensión y deslizamiento	Agrietamiento conectado a la superficie
Agrietamiento por Deslizamiento	Formación de microfisuras y microvacíos, agrietamiento superficial, agrietamiento conectado a la superficie, cambios metalúrgicos, cambios dimensionales
Sobrecarga	Cambios dimensionales, Reducción
Fractura Frágil	Cambios Metalúrgicos, cambios en las propiedades del material.

MECANISMOS DE DAÑOS METALÚRGICOS Y AMBIENTALES	
MECANISMO DE DAÑO	TIPO DE DAÑO
Fusión Incipiente	Formación de microfisuras y microvacíos, agrietamiento subsuperficial, agrietamiento conectado a la superficie, cambios en propiedades de material, cambios metalúrgicos.
Esferoidización y Grafitización	Formación de microfisuras y microvacíos, agrietamiento subsuperficial, agrietamiento conectado a la superficie, cambios en propiedades de material, cambios metalúrgicos.
Endurecimiento	Cambios metalúrgicos y en propiedades del material.
Fragilización de la fase sigma	Cambios metalúrgicos y en propiedades del material.
Fragilidad por temple	Cambios metalúrgicos y en propiedades del material.
Agrietamiento por recalentamiento	Agrietamiento conectado a la superficie, cambios en propiedades de material, cambios metalúrgicos.
Fragilidad por precipitación de Cloruro	Cambios metalúrgicos y en propiedades del material.
Carburización	Cambios metalúrgicos y en propiedades del material.
Descarburización	Cambios metalúrgicos y en propiedades del material.
Polvo de Metal	Reducción
Nitruración	Cambios metalúrgicos y en propiedades del material.
Envejecimiento por tensión	Cambios metalúrgicos y en propiedades del material.
Ablandamiento por sobrevejecimiento	Cambios metalúrgicos y en propiedades del material.
Fragilización por envejecimiento por alta temperatura.	Cambios metalúrgicos y en propiedades del material.

ANEXO 2. Programa de Inspección de Caldera Piro-tubular

PROCESO INSTITUCIONAL O DIVISIÓN - MANTENIMIENTO			Logo Empresa
PROGRAMA DE INSPECCIÓN DE CALDERA PIROTUBULAR			
Elaboró:	Código Documento	No. Revisión	

OBJETIVO
Establecer lineamientos para realizar la inspección visual y evaluación de las condiciones de instalación y operación de la Caldera Piro-tubular.

ALCANCE
Aplica para el mantenimiento de los siguientes dispositivos: Caldera Piro-tubular.

DOCUMENTOS DE REFERENCIA
<ul style="list-style-type: none"> ○ Norma API RP 581 ○ Norma ASME Sección 8 ○ Propuesta de Reglamento Técnico Colombiano de Calderas RTC (Ministerio de Protección Social)

POLÍTICAS INSTITUCIONALES (OPCIONAL)
Políticas institucionales de Mantenimiento y Conservación de equipos

PERSONAL Y RESPONSABILIDADES
<ul style="list-style-type: none"> ○ Responsable de Mantenimiento: Realizar la inspección, evaluar condiciones y documentar resultados. Presentar las propuestas para mejoramiento. ○ Técnico Operador: Acompañar el proceso de inspección, disponer el espacio y las condiciones para la ejecución de actividades y cambios solicitados.

RECURSOS
<p>Recurso Humanos: Inspector(es) (Responsable(s) de Mantenimiento) y Técnico(s) (Operador(es) del Equipo)</p> <p>Recursos Físicos: Elementos de Protección Personal (EPP's)</p> <p>Recursos Financieros: No se requiere – Se necesita presupuesto para implementar acciones de mejora posterior a la inspección alcance de este documento (como Adecuaciones de Infraestructura, instalaciones, sustitución de componentes, implementación de técnicas de inspección especializadas, entre otras).</p>

PROCESO INSTITUCIONAL O DIVISIÓN - MANTENIMIENTO				Logo Empresa
PROGRAMA DE INSPECCIÓN DE CALDERA PIROTUBULAR				
Elaboró:	Código Documento	No. Revisión	Página 2 de 2	

ACTIVIDADES DEL PROGRAMA
<ol style="list-style-type: none"> 1. Establecer con anticipación Fecha y Hora para realizar la Actividad de Inspección – Acordar con el departamento o unidad que requiere el funcionamiento de la Caldera y los técnicos encargados de su operación. 2. Solicitar permisos de trabajo correspondientes. 3. Realizar inspección visual del dispositivo y diligenciar el Formato correspondiente (Formato de Inspección General de Caldera Pirotubular), calificando la conformidad o no de las afirmaciones y requerimientos establecidos. 4. Documentar las observaciones adicionales de las condiciones observadas. 5. Analizar la información recolectada, las no conformidades presentadas y las observaciones adicionales presentadas en la Visita. 6. Presentar las Acciones orientadas a realizar las mejoras del Sistema y Acondicionamiento, de manera tal que las no conformidades sean corregidas. <p>Nota: Solicitar el presupuesto y la aprobación de las actividades en instancias Directivas sustentado con el riesgo presente en el equipo.</p>

INSTRUCTIVOS
No Aplican

FORMATOS
<ul style="list-style-type: none"> ○ Formato de Inspección General de Caldera Pirotubular (Código Interno Institucional)

ANEXOS
<ul style="list-style-type: none"> ○ Formato de Inspección General de Caldera Pirotubular (Código Interno Institucional)

PROGRAMA DE INSPECCIÓN DE CALDERA PIROTUBULAR		<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 80px; margin: auto;"> Logo Empresa </div>
INSPECCIÓN GENERAL DE CALDERA PIROTUBULAR		
Código Formato	No. Revisión	

Chimeneas

<p>Construida en lámina de acero con espesor mínimo de 3 mm <input type="checkbox"/></p> <p>Área de salida de gases en extremo de chimenea mayor que área de salida de gases de caldera <input type="checkbox"/></p> <p>Presenta curvas fuertes y tramos horizontales <input type="checkbox"/></p> <p>Mantiene combustión estable, adecuada velocidad y evita la salida de llamas, chispas y hollín <input type="checkbox"/></p> <p>Cumple con valores de emisiones mínimas autorizadas. <input type="checkbox"/></p> <p>Diseño regido por Norma Colombiana sismo-resistente NSR-98 <input type="checkbox"/></p> <p>Presenta caperuza que impide filtración de agua. <input type="checkbox"/></p> <p>Presenta orificios accequibles para efectuar mediciones de temperatura y análisis de gases. <input type="checkbox"/></p> <p>Altura superior a 2 mt por encima de construcciones presentes en un área de 10 mt. <input type="checkbox"/></p> <p>No hay presencia de fugas o escapes a lo largo del ducto. <input type="checkbox"/></p>	<p>Presenta conexión a tierra, con resistencia menor a 5 ohm <input type="checkbox"/></p> <p>Posee tubo de alimentación desde la parte superior hasta el fondo del tanque o hasta mínimo nivel de contención <input type="checkbox"/></p> <p>Cumple con medidas de protección contra rayos. <input type="checkbox"/></p> <p>Base de tanque construida en material no inflamable. <input type="checkbox"/></p> <p>Posee abertura de acceso para mantenimiento y limpieza. <input type="checkbox"/></p> <p>Presenta conexión para el recibo, salida y retorno de combustible. <input type="checkbox"/></p> <p>Posee conexión para indicador de nivel y temperatura <input type="checkbox"/></p> <p>Presenta conexión para operación de venteo <input type="checkbox"/></p> <p>Presenta conexión para drenaje de agua y sedimentos. <input type="checkbox"/></p> <p>Tanque mayores a 3785 litros, deben presentar válvulas de presión y vacío <input type="checkbox"/></p> <p>Presenta sistema de control de rebose de combustible <input type="checkbox"/></p> <p>Presenta reporte de prueba de hermeticidad <input type="checkbox"/></p> <p>Posee indicador para llenado máximo visual o audible <input type="checkbox"/></p>
--	--

Sistema de Almacenamiento de Combustible

<p>El combustible se confina en tanques adecuados <input type="checkbox"/></p> <p>Tanque construido en lámina de acero de espesor adecuado para capacidad de almacenamiento <input type="checkbox"/></p> <p>Posee conexión de venteo, llenado, drenaje con tapón, descarga e indicación de nivel. <input type="checkbox"/></p> <p>Posee conexión a tierra. <input type="checkbox"/></p> <p>Tiene instalada placa metálica de identificación sobre la superficie. <input type="checkbox"/></p> <p>Presenta símbolo de identificación de riesgo de incendio <input type="checkbox"/></p>	<p>No presenta alimentación por gravedad desde otro tanque superior <input type="checkbox"/></p> <p>Tanque con capacidad inferior a 1000 lt, se encuentra ubicado a 1.5 mt de linderos públicos <input type="checkbox"/></p> <p>Tanque mayor a 1000 lt, se encuentra ubicado fuera del recinto de la caldera. <input type="checkbox"/></p> <p>Distancia del tanque a superficie de caldera o tuberías de vapor mayor o igual a 2 mt <input type="checkbox"/></p> <p>No cuenta con indicadores visuales de vidrio <input type="checkbox"/></p> <p>Tanques con capacidad superior a 1000 lt, cuenta con dique para control de derrames, con capacidad mayor o igual a 1.5 veces la capacidad del tanque. <input type="checkbox"/></p>
--	---

PROGRAMA DE INSPECCIÓN DE CALDERA PIROTUBULAR			<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; color: red;">Logo Empresa</div>																								
INSPECCIÓN GENERAL DE CALDERA PIROTUBULAR																											
Código Formato	No. Revisión	Página 3 de 6																									
<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 10px; text-align: center;">Controles</div> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; padding: 5px;">Presenta control de agua.</td> <td style="width: 5%; text-align: center; padding: 5px;"><input type="checkbox"/></td> <td style="width: 40%; padding: 5px;">Cámara de agua presenta drenaje vertical, no menor de 19.05 mm de diámetro</td> <td style="width: 5%; text-align: center; padding: 5px;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Presenta control de presión de vapor.</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;"><input type="checkbox"/></td> <td style="padding: 5px;">Cámara de agua ubicada en punto más bajo que permite su limpieza</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Presenta control de temperatura.</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;"><input type="checkbox"/></td> <td style="padding: 5px;">Presenta segunda protección que corta suministro de combustible, como soporte al primer sistema.</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Presenta control de suministro de combustible</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;"><input type="checkbox"/></td> <td style="padding: 5px;">Presenta como mínimo un dispositivo automático de presión, tarado a un valor menor que la presión máxima de trabajo.</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Presenta control de combustión, programación del encendido y seguridad de llama.</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;"><input type="checkbox"/></td> <td style="padding: 5px;">Posee válvula manual para corte de combustible.</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;"><input type="checkbox"/></td> </tr> </table>				Presenta control de agua.	<input type="checkbox"/>	Cámara de agua presenta drenaje vertical, no menor de 19.05 mm de diámetro	<input type="checkbox"/>	Presenta control de presión de vapor.	<input type="checkbox"/>	Cámara de agua ubicada en punto más bajo que permite su limpieza	<input type="checkbox"/>	Presenta control de temperatura.	<input type="checkbox"/>	Presenta segunda protección que corta suministro de combustible, como soporte al primer sistema.	<input type="checkbox"/>	Presenta control de suministro de combustible	<input type="checkbox"/>	Presenta como mínimo un dispositivo automático de presión, tarado a un valor menor que la presión máxima de trabajo.	<input type="checkbox"/>	Presenta control de combustión, programación del encendido y seguridad de llama.	<input type="checkbox"/>	Posee válvula manual para corte de combustible.	<input type="checkbox"/>				
Presenta control de agua.	<input type="checkbox"/>	Cámara de agua presenta drenaje vertical, no menor de 19.05 mm de diámetro	<input type="checkbox"/>																								
Presenta control de presión de vapor.	<input type="checkbox"/>	Cámara de agua ubicada en punto más bajo que permite su limpieza	<input type="checkbox"/>																								
Presenta control de temperatura.	<input type="checkbox"/>	Presenta segunda protección que corta suministro de combustible, como soporte al primer sistema.	<input type="checkbox"/>																								
Presenta control de suministro de combustible	<input type="checkbox"/>	Presenta como mínimo un dispositivo automático de presión, tarado a un valor menor que la presión máxima de trabajo.	<input type="checkbox"/>																								
Presenta control de combustión, programación del encendido y seguridad de llama.	<input type="checkbox"/>	Posee válvula manual para corte de combustible.	<input type="checkbox"/>																								
<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 10px; text-align: center;">Indicadores</div> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; padding: 5px;">Cuenta con indicador de nivel de agua</td> <td style="width: 5%; text-align: center; padding: 5px;"><input type="checkbox"/></td> <td style="width: 40%; padding: 5px;">Manómetro instalado antes de la válvula reguladora con rango mínimo de 2 veces la presión de la red de suministro.</td> <td style="width: 5%; text-align: center; padding: 5px;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Cuenta con indicador de presión de vapor.</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;"><input type="checkbox"/></td> <td style="padding: 5px;">Válvula de regulación de presión acorde con especificaciones del quemador.</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Cuenta con indicador de temperatura de vapor.</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;"><input type="checkbox"/></td> <td style="padding: 5px;">Manómetro instalado después de la válvula reguladora con rango mínimo de dos veces la presión del quemador.</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Cuenta con indicador de nivel de temperatura de gases.</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;"><input type="checkbox"/></td> <td style="padding: 5px;">Presenta válvula de seguridad en la línea del quemador.</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;"><input type="checkbox"/></td> </tr> </table>				Cuenta con indicador de nivel de agua	<input type="checkbox"/>	Manómetro instalado antes de la válvula reguladora con rango mínimo de 2 veces la presión de la red de suministro.	<input type="checkbox"/>	Cuenta con indicador de presión de vapor.	<input type="checkbox"/>	Válvula de regulación de presión acorde con especificaciones del quemador.	<input type="checkbox"/>	Cuenta con indicador de temperatura de vapor.	<input type="checkbox"/>	Manómetro instalado después de la válvula reguladora con rango mínimo de dos veces la presión del quemador.	<input type="checkbox"/>	Cuenta con indicador de nivel de temperatura de gases.	<input type="checkbox"/>	Presenta válvula de seguridad en la línea del quemador.	<input type="checkbox"/>								
Cuenta con indicador de nivel de agua	<input type="checkbox"/>	Manómetro instalado antes de la válvula reguladora con rango mínimo de 2 veces la presión de la red de suministro.	<input type="checkbox"/>																								
Cuenta con indicador de presión de vapor.	<input type="checkbox"/>	Válvula de regulación de presión acorde con especificaciones del quemador.	<input type="checkbox"/>																								
Cuenta con indicador de temperatura de vapor.	<input type="checkbox"/>	Manómetro instalado después de la válvula reguladora con rango mínimo de dos veces la presión del quemador.	<input type="checkbox"/>																								
Cuenta con indicador de nivel de temperatura de gases.	<input type="checkbox"/>	Presenta válvula de seguridad en la línea del quemador.	<input type="checkbox"/>																								
<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 10px; text-align: center;">Dispositivos de Seguridad</div> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; padding: 5px;">Presenta válvulas de seguridad.</td> <td style="width: 5%; text-align: center; padding: 5px;"><input type="checkbox"/></td> <td style="width: 40%; padding: 5px;">Presenta sensor de llama.</td> <td style="width: 5%; text-align: center; padding: 5px;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Presenta válvulas de cierre rápido para corte de combustible.</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;"><input type="checkbox"/></td> <td style="padding: 5px;">Posee interruptor para alta presión del gas con reajuste manual.</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Alarmas e Interruptores de seguridad presentes.</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;"><input type="checkbox"/></td> <td style="padding: 5px;">Presenta segunda válvula de seguridad de cierre rápido.</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Tablero de control disponible.</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;"><input type="checkbox"/></td> <td style="padding: 5px;">Posee interruptor por baja presión de gas.</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Sistema de agua de alimentación presente.</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;"><input type="checkbox"/></td> <td style="padding: 5px;">Presenta temporizador de prepurga.</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Válvulas, tuberías, y accesorios en buen estado.</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;"><input type="checkbox"/></td> <td style="padding: 5px;">Válvula solenoide de corte de gas para piloto de encendido.</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;"><input type="checkbox"/></td> </tr> </table>				Presenta válvulas de seguridad.	<input type="checkbox"/>	Presenta sensor de llama.	<input type="checkbox"/>	Presenta válvulas de cierre rápido para corte de combustible.	<input type="checkbox"/>	Posee interruptor para alta presión del gas con reajuste manual.	<input type="checkbox"/>	Alarmas e Interruptores de seguridad presentes.	<input type="checkbox"/>	Presenta segunda válvula de seguridad de cierre rápido.	<input type="checkbox"/>	Tablero de control disponible.	<input type="checkbox"/>	Posee interruptor por baja presión de gas.	<input type="checkbox"/>	Sistema de agua de alimentación presente.	<input type="checkbox"/>	Presenta temporizador de prepurga.	<input type="checkbox"/>	Válvulas, tuberías, y accesorios en buen estado.	<input type="checkbox"/>	Válvula solenoide de corte de gas para piloto de encendido.	<input type="checkbox"/>
Presenta válvulas de seguridad.	<input type="checkbox"/>	Presenta sensor de llama.	<input type="checkbox"/>																								
Presenta válvulas de cierre rápido para corte de combustible.	<input type="checkbox"/>	Posee interruptor para alta presión del gas con reajuste manual.	<input type="checkbox"/>																								
Alarmas e Interruptores de seguridad presentes.	<input type="checkbox"/>	Presenta segunda válvula de seguridad de cierre rápido.	<input type="checkbox"/>																								
Tablero de control disponible.	<input type="checkbox"/>	Posee interruptor por baja presión de gas.	<input type="checkbox"/>																								
Sistema de agua de alimentación presente.	<input type="checkbox"/>	Presenta temporizador de prepurga.	<input type="checkbox"/>																								
Válvulas, tuberías, y accesorios en buen estado.	<input type="checkbox"/>	Válvula solenoide de corte de gas para piloto de encendido.	<input type="checkbox"/>																								
<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 10px; text-align: center;">Dispositivos de Control</div> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; padding: 5px;">Suministro de agua automático, con su respectivo control.</td> <td style="width: 5%; text-align: center; padding: 5px;"><input type="checkbox"/></td> <td style="width: 40%; padding: 5px;">Posee piloto de encendido.</td> <td style="width: 5%; text-align: center; padding: 5px;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Sistema de corte de combustible automático.</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;"><input type="checkbox"/></td> <td style="padding: 5px;">Presenta sistema de ignición eléctrico, asociado al detector de llama e integrado a sistema de purga del gas combustible de la cámara de combustión.</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Nivel de agua mínimo se encuentra a 5 cm. Por encima de la última hilera superior de los tubos internos.</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;"><input type="checkbox"/></td> <td style="padding: 5px;">Posee bomba para suministro de combustible directo al quemador</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Accionamiento de alarma en punto de nivel de agua máximo y mínimo.</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;"><input type="checkbox"/></td> <td style="padding: 5px;">Presenta indicador de presión en la descarga de la bomba de combustible.</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Presenta filtro para aceite combustible.</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;"><input type="checkbox"/></td> <td style="padding: 5px;">Posee válvula de cierre rápido que interrumpe el paso de combustible al quemador.</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td style="padding: 5px;">Presenta sistema de retorno de combustible al tanque, accionado por válvula solenoide.</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;"><input type="checkbox"/></td> </tr> </table>				Suministro de agua automático, con su respectivo control.	<input type="checkbox"/>	Posee piloto de encendido.	<input type="checkbox"/>	Sistema de corte de combustible automático.	<input type="checkbox"/>	Presenta sistema de ignición eléctrico, asociado al detector de llama e integrado a sistema de purga del gas combustible de la cámara de combustión.	<input type="checkbox"/>	Nivel de agua mínimo se encuentra a 5 cm. Por encima de la última hilera superior de los tubos internos.	<input type="checkbox"/>	Posee bomba para suministro de combustible directo al quemador	<input type="checkbox"/>	Accionamiento de alarma en punto de nivel de agua máximo y mínimo.	<input type="checkbox"/>	Presenta indicador de presión en la descarga de la bomba de combustible.	<input type="checkbox"/>	Presenta filtro para aceite combustible.	<input type="checkbox"/>	Posee válvula de cierre rápido que interrumpe el paso de combustible al quemador.	<input type="checkbox"/>			Presenta sistema de retorno de combustible al tanque, accionado por válvula solenoide.	<input type="checkbox"/>
Suministro de agua automático, con su respectivo control.	<input type="checkbox"/>	Posee piloto de encendido.	<input type="checkbox"/>																								
Sistema de corte de combustible automático.	<input type="checkbox"/>	Presenta sistema de ignición eléctrico, asociado al detector de llama e integrado a sistema de purga del gas combustible de la cámara de combustión.	<input type="checkbox"/>																								
Nivel de agua mínimo se encuentra a 5 cm. Por encima de la última hilera superior de los tubos internos.	<input type="checkbox"/>	Posee bomba para suministro de combustible directo al quemador	<input type="checkbox"/>																								
Accionamiento de alarma en punto de nivel de agua máximo y mínimo.	<input type="checkbox"/>	Presenta indicador de presión en la descarga de la bomba de combustible.	<input type="checkbox"/>																								
Presenta filtro para aceite combustible.	<input type="checkbox"/>	Posee válvula de cierre rápido que interrumpe el paso de combustible al quemador.	<input type="checkbox"/>																								
		Presenta sistema de retorno de combustible al tanque, accionado por válvula solenoide.	<input type="checkbox"/>																								

PROGRAMA DE INSPECCIÓN DE CALDERA PIROTUBULAR			<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; color: red;">Logo Empresa</div>
INSPECCIÓN GENERAL DE CALDERA PIROTUBULAR			
Código Formato	No. Revisión	Página 4 de 6	
Controles de Combustión, Programación de Encendido y Seguridad de Llama			
<p>Dispone de control de llama, controla desde el arranque y durante el funcionamiento normal del equipo. <input type="checkbox"/></p> <p>Presenta interruptor que verifica la presión adecuada del aire. <input type="checkbox"/></p> <p>Se dispone del certificado de conformidad del tren de regulación para uso de gas natural. <input type="checkbox"/></p> <p>Los venteos están dispuestos hacia la atmósfera exterior. <input type="checkbox"/></p> <p>Tuberías de acero al carbono SCH 40 protegidas contra corrosión mediante pintura tipo epóxica de color amarillo (ICONTEC 3458). <input type="checkbox"/></p> <p>Tren de gas firme y con aislamiento. <input type="checkbox"/></p> <p>Tuberías roscadas para diámetro menor a 50.8 mm con presión menor a 34,5 Kpa y caudal menor a 50 m³ / hr. <input type="checkbox"/></p> <p>Tubería soldada y con uso de bridas para diámetro mayor a 50.8 mm. <input type="checkbox"/></p> <p>Tren de gas soldado presenta prueba de hermeticidad. <input type="checkbox"/></p> <p>Tuberías soportadas mediante anclajes libres de esfuerzos mecánicos y dinámicos, sobre elementos estructurales fabricados en perfil de acero. <input type="checkbox"/></p> <p>Tubería fijada mediante abrazaderas metálicas aisladas eléctricamente, permitiendo desplazamiento axial de la tubería. <input type="checkbox"/></p> <p>La distancia mínima entre tubería y caja de fusibles, interruptor, o tuberías con otros servicios es de 20 cm <input type="checkbox"/></p> <p>No cuenta con tubería paralela a cables de energía eléctrica <input type="checkbox"/></p> <p>No cuenta con tuberías soportada en bandejas útiles como soporte de cableado eléctrico <input type="checkbox"/></p> <p>No hay presencia de tuberías cerca de chimeneas, zonas de alta temperatura, materiales inflamables <input type="checkbox"/></p>	<p>Tubería de venteo de combustible líquido es de hierro forjado o acero SCH 40. <input type="checkbox"/></p> <p>Tubería de venteo menor a 65 mm puede ser de bronce o cobre. <input type="checkbox"/></p> <p>Tubería de conexión al quemador de diámetro mayor a 9.5 mm <input type="checkbox"/></p> <p>Tubería de cobre de espesor mínimo de 0.89 mm <input type="checkbox"/></p> <p>Tubería para combustible líquido, puede ser roscada hasta un diámetro de 50 mm. <input type="checkbox"/></p> <p>No cuenta con accesorios construidos en hierro fundido <input type="checkbox"/></p> <p>Línea de retorno desde el quemador o descarga de la bomba al tanque de suministro presente. <input type="checkbox"/></p> <p>Línea de retorno desde el quemador o descarga de la bomba no presenta válvulas u obstrucciones <input type="checkbox"/></p> <p>Tubería de succión de la bomba de combustible es hermética. <input type="checkbox"/></p>		
			Dispositivos Indicadores
			Manómetros
			<p>Manómetro instalado en el lado vapor de la columna de agua o en la línea de salida de vapor. <input type="checkbox"/></p> <p>Son visibles, de fácil acceso y lectura <input type="checkbox"/></p> <p>Escala del manómetro en bares; presenta graduaciones visibles de 1 ½ a 3 ½ veces el ajuste de la válvula de seguridad. <input type="checkbox"/></p> <p>Su diámetro es mayor o igual a 10 cm <input type="checkbox"/></p> <p>Conexión con la caldera mayor a 12.7 mm de diámetro, con válvula de cierre dispuesta en la tubería de conexión. <input type="checkbox"/></p> <p>La tubería de conexión al manómetro presenta sifón para sello de agua y prevención de daño por temperatura de vapor. <input type="checkbox"/></p>

PROGRAMA DE INSPECCIÓN DE CALDERA PIROTUBULAR			<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; color: red;">Logo Empresa</div>
INSPECCIÓN GENERAL DE CALDERA PIROTUBULAR			
Código Formato	No. Revisión	Página 5 de 6	
Dispositivos Indicadores			Presenta placa de identificación clara e imborrable. <input type="checkbox"/>
Termómetros			Especificaciones de válvula presentes en manual de caldera. <input type="checkbox"/>
Termómetro que sensa la temperatura del agua, en el lugar próximo a la salida de la caldera. <input type="checkbox"/>		Instalada cerca al domo de caldera, en posición vertical y de manera directa sin obstrucciones. <input type="checkbox"/>	Capacidad para descarga de totalidad de vapor. <input type="checkbox"/>
Se encuentra ubicado en lugar de fácil acceso y lectura. <input type="checkbox"/>		Si presenta dos válvulas de seguridad, no deben estar ajustadas a la misma presión. <input type="checkbox"/>	Conexiones con cuerpo de caldea deben ser cortas, con diámetro adecuado para la descarga. <input type="checkbox"/>
Escala del termómetro con graduaciones visibles de 1 ½ a 2 veces la máxima temperatura de salida del agua de la caldera (Ajustada en grados °C) <input type="checkbox"/>		Alarmas	
Indicador de Nivel de Agua			Presenta alarma por bajo nivel de agua. <input type="checkbox"/>
Presenta mínimo un indicador de nivel de agua de vidrio. <input type="checkbox"/>		Presenta alarma por corte de combustible. <input type="checkbox"/>	Interruptores
Está unido a la columna de agua o caldera por medio de niple mayor a 12.7 mm <input type="checkbox"/>		Interruptor para bloqueo en altas o bajas presiones de gas al quemador. <input type="checkbox"/>	Interruptor para bloqueo en baja presión de líquido combustible. <input type="checkbox"/>
Presenta marca de nivel permisible mínimo de agua, visible todo el tiempo. <input type="checkbox"/>		Sistema de Alimentación de Agua	
Nivel de agua en la parte inferior del vidrio mayor a 25 mm por encima del mínimo nivel de agua recomendado. <input type="checkbox"/>		Presenta sistema de alimentación de agua y de corte de combustible, que actúa con la señal de nivel de agua. <input type="checkbox"/>	
Diámetro de tubería que conecta la columna de agua al control de nivel de la caldera, mínimo de 25 mm <input type="checkbox"/>		Suministro a través de tubería corta entre la bomba y el cuerpo de la caldera, con válvula cheque. <input type="checkbox"/>	
Únicamente regulador de nivel de agua, indicador de presión de vapor y purga manual pueden estar unidos a la columna de agua. <input type="checkbox"/>		No cuenta con alimentación directa de agua de red pública <input type="checkbox"/>	
No presenta válvulas de bloqueo en las líneas de conexión <input type="checkbox"/>		Diámetro de tubería del sistema de alimentación de agua igual al diámetro del orificio de la caldera dispuesta para la alimentación de agua. Para calderas de más de 190 Kw diámetro mínimo de 19mm <input type="checkbox"/>	
Válvulas de drenaje en ángulo recto, en la parte baja de la caldera para limpieza. (opcional). El tubo de drenaje de la columna de agua no debe ser menor de 19 mm <input type="checkbox"/>		Capacidad de la bomba mínimo 1.5 veces la capacidad de evaporación a plena carga. <input type="checkbox"/>	
Mínimo diámetro de sifón 6.35 mm <input type="checkbox"/>		Presión de descarga de la bomba mínimo 3% mayor a la presión de ajuste de cualquier válvula de seguridad, más el valor por pérdidas. <input type="checkbox"/>	
Dispositivos de Seguridad			
Válvulas de Seguridad			
Dispone mínimo de una válvula de seguridad. <input type="checkbox"/>			
Caldera con superficie de calentamiento mayor a 50 m ² , presenta dos o más válvulas de seguridad. <input type="checkbox"/>			

PROGRAMA DE INSPECCIÓN DE CALDERA PIROTUBULAR			<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 80px; margin: auto;"> Logo Empresa </div>
INSPECCIÓN GENERAL DE CALDERA PIROTUBULAR			
Código Formato	No. Revisión	Página 6 de 6	

<p>Caldera con superficie de transferencia de calor superior a 50 m², debe disponer de por lo menos dos bombas de alimentación independientes. <input type="checkbox"/></p> <p>Instalación de manómetro en la descarga de las bombas. <input type="checkbox"/></p> <p>Puerto de descarga de la tubería de alimentación a la caldera, permite nivel de agua por encima del nivel mínimo permitido dentro de la caldera <input type="checkbox"/></p> <p>Bomba de accionamiento automático <input type="checkbox"/></p> <p>Presenta tanque de condensados o tanque de agua de alimentación con volumen suficiente para cubrir requerimientos a máxima capacidad operando durante 15 minutos. <input type="checkbox"/></p>	<p>Conexión para suministro de agua con regulador de suministro <input type="checkbox"/></p> <p>Conexión para rebose <input type="checkbox"/></p> <p>Conexión para drenaje <input type="checkbox"/></p> <p>Conexión para succión de la bomba <input type="checkbox"/></p> <p>Indicador de nivel de agua <input type="checkbox"/></p> <p>Indicador de temperatura. <input type="checkbox"/></p> <p>Distancia entre tubería de drenaje y conexión de purga por la parte inferior mínimo 30 cm. <input type="checkbox"/></p> <p>Desfogues no deben descargar sobre vías de circulación de personal <input type="checkbox"/></p> <p>Desfogues drenan directamente a la red de aguas negras (Prohibido) <input type="checkbox"/></p>
---	---

Conexiones y Dispositivos Tanque de Agua

Conexión para retorno <input type="checkbox"/>	
Conexión para ventilación <input type="checkbox"/>	

OBSERVACIONES

FIRMA RESPONSABLE DE INSPECCIÓN

ANEXO 3. Programa de Mantenimiento Caldera Pirotubular

PROCESO INSTITUCIONAL O DIVISIÓN - MANTENIMIENTO				Logo Empresa
PROGRAMA DE MANTENIMIENTO DE CALDERA PIROTUBULAR				
Elaboró:	Código Documento	No. Revisión	Página 1 de 8	
OBJETIVO				
<p>Establecer lineamientos para realizar los mantenimientos correspondientes para la conservación y cuidado de la Caldera Pirotubular y la operación correcta de la misma. Se presentan las actividades a desarrollarse en diferentes frecuencias: Diarias, Semanales, Mensuales, Trimestrales y Anuales</p>				
ALCANCE				
<p>Aplica para el mantenimiento de los siguientes dispositivos: Caldera Pirotubular.</p>				
DOCUMENTOS DE REFERENCIA				
<ul style="list-style-type: none"> ○ Norma API RP 581 ○ Norma ASME Sección 8 ○ Propuesta de Reglamento Técnico Colombiano de Calderas RTC (Ministerio de Protección Social) 				
ACTIVIDADES				
<p>Realizar las actividades planteadas para el mantenimiento con las diferencias frecuencias señaladas en los formatos adjuntos al Programa</p>				

PROCESO INSTITUCIONAL O DIVISIÓN (MANTENIMIENTO)						Logo Empresa
PROGRAMA DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DIARIO						
FECHA	MARCA CALDERA	MODELO	CAPACIDAD	PRESIÓN DE DISEÑO	PRESIÓN MÁXIMA DE TRABAJO	
COMBUSTIBLE DE TRABAJO			RESPONSABLE			
<p>1. Hacer una completa inspección del cuarto de calderas</p> <p>2. Revisar las tuberías y las válvulas para determinar si hay fugas.</p> <p>3. Observar si se presenta alguna anomalía en la operación de las bombas, motores o controles.</p> <p>4. Purgar la caldera, abriendo y cerrando completamente la válvula de purga que está bajo la caldera.</p> <p>5. Mantener el cuarto de calderas limpio. Polvo, pelusa, mugre: estas son causales de que los controles no operen adecuadamente. No se dejen trapos ni papeles en el suelo: pueden ser llevados hasta el soplador de la caldera y absorbidos por el mismo.</p>		<p>6. Verificar que la ignición se estableció y que el quemador realiza todos los ciclos de iniciación.</p> <p>7. Revisar los niveles de agua y los grifos de purga.</p> <p>8. Revisar los controles de agua baja.</p> <p>9. Purgar la columna de agua y los vidrios y observar la rapidez con que las mirillas se vuelven a llenar de agua.</p> <p>10. Revisar las boquillas del quemador y las condiciones del fuego visualmente.</p> <p>11. Revisar las bombas de agua.</p> <p>12. Si se usa un control de nivel de agua tipo flotador, purgar la cámara donde está el flotador.</p>		<p>13. Al apagar la caldera, dejar el precalentador eléctrico en posición de encendido, para mantenerla a temperatura adecuada.</p> <p>14. Conservación de la presión y temperatura adecuadas del combustible.</p> <p>15. Verificación y anotación de temperatura de chimenea.</p> <p>16. Efectuar lubricación del compresor.</p> <p>17. Chequear la presión de la válvula de seguridad por el manómetro, verificar si es necesario el cambio de fuelle.</p> <p>18. Revisión de manómetros. Registrar lectura en formato de hoja de registro diario de condiciones de operación.</p>		

PROCESO INSTITUCIONAL O DIVISIÓN (MANTENIMIENTO)			
PROGRAMA DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO SEMANAL			
	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">Logo Empresa</div>		
<div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-bottom: 10px;"> <div style="display: flex; gap: 5px;"> <input style="width: 20px; height: 20px; border: 1px solid black;" type="text"/> <input style="width: 20px; height: 20px; border: 1px solid black;" type="text"/> <input style="width: 20px; height: 20px; border: 1px solid black;" type="text"/> </div> <div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 20px;"></div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: 80px; text-align: center;">FECHA</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: 100px; text-align: center;">RESPONSABLE</div> </div>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top; padding: 5px;"> <ol style="list-style-type: none"> 1. Cambiar y limpiar las boquillas del quemador 2. Apretar y limpiar los terminales de encendido. 3. Limpiar los filtros de las bombas de agua y aceite 4. Revisar los electrodos de ignición y/o montaje del piloto 5. Revisión de tornillos de anclaje de motores y bombas. 6. Limpieza de polvo de los controles y terminales eléctricos . 7. Limpieza de filtro de combustible. 8. Limpieza de filtro de agua. </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top; padding: 5px;"> <ol style="list-style-type: none"> 9. Quitar sedimentos y suciedades que hacen deficiente funcionamiento en la válvula de seguridad. 10. Verificar que las uniones roscadas se encuentren completamente limpias en la válvula de seguridad 11. Revisar estado exterior del tanque. 12. Eliminar la suciedad de las aberturas de entrada de aire de las aletas y en la parte inferior del motor eléctrico 13. Buscar escapes, averías y revisar estado interior del tanque de combustible. Examinar que no haya materias extrañas dentro de él como agua, suciedades entre otras. 14. Lubricar las balineras del compresor. </td> </tr> </table>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Cambiar y limpiar las boquillas del quemador 2. Apretar y limpiar los terminales de encendido. 3. Limpiar los filtros de las bombas de agua y aceite 4. Revisar los electrodos de ignición y/o montaje del piloto 5. Revisión de tornillos de anclaje de motores y bombas. 6. Limpieza de polvo de los controles y terminales eléctricos . 7. Limpieza de filtro de combustible. 8. Limpieza de filtro de agua. 	<ol style="list-style-type: none"> 9. Quitar sedimentos y suciedades que hacen deficiente funcionamiento en la válvula de seguridad. 10. Verificar que las uniones roscadas se encuentren completamente limpias en la válvula de seguridad 11. Revisar estado exterior del tanque. 12. Eliminar la suciedad de las aberturas de entrada de aire de las aletas y en la parte inferior del motor eléctrico 13. Buscar escapes, averías y revisar estado interior del tanque de combustible. Examinar que no haya materias extrañas dentro de él como agua, suciedades entre otras. 14. Lubricar las balineras del compresor.
<ol style="list-style-type: none"> 1. Cambiar y limpiar las boquillas del quemador 2. Apretar y limpiar los terminales de encendido. 3. Limpiar los filtros de las bombas de agua y aceite 4. Revisar los electrodos de ignición y/o montaje del piloto 5. Revisión de tornillos de anclaje de motores y bombas. 6. Limpieza de polvo de los controles y terminales eléctricos . 7. Limpieza de filtro de combustible. 8. Limpieza de filtro de agua. 	<ol style="list-style-type: none"> 9. Quitar sedimentos y suciedades que hacen deficiente funcionamiento en la válvula de seguridad. 10. Verificar que las uniones roscadas se encuentren completamente limpias en la válvula de seguridad 11. Revisar estado exterior del tanque. 12. Eliminar la suciedad de las aberturas de entrada de aire de las aletas y en la parte inferior del motor eléctrico 13. Buscar escapes, averías y revisar estado interior del tanque de combustible. Examinar que no haya materias extrañas dentro de él como agua, suciedades entre otras. 14. Lubricar las balineras del compresor. 		

PROCESO INSTITUCIONAL O DIVISIÓN (MANTENIMIENTO)		Logo Empresa
PROGRAMA DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO MENSUAL		
<input style="width: 20px; height: 20px;" type="text"/> <input style="width: 20px; height: 20px;" type="text"/> <input style="width: 20px; height: 20px;" type="text"/>	<input style="width: 100%; height: 20px;" type="text"/>	
FECHA	RESPONSABLE	
<p>1. Comprobación de alineamiento de bombas y motores.</p> <p>2. Inspección del estado de la cámara de combustible.</p> <p>3. Limpieza del quemador.</p> <p>4. Inspección de los empaques de la bomba.</p> <p>5. Desarmar el conjunto del tubo de aire y de combustible del quemador.</p> <p>6. Inspeccionar las puntas del electrodo del quemador y ajustarlas cuando sea necesario.</p> <p>7. Revisar la porcelana del electrodo Del quemador y cambiarlo si se encuentra agrietado o estallado.</p> <p>8. Retirar el filtro de aire y limpiar el motor del compresor.</p> <p>9. Limpiar los depósitos sucios en las aletas o carcasa del ventilador del tiro de la chimenea.</p> <p>10. Revisar tornillería de anclaje, collares de la bobina, fricción en las partes inferiores del ventilador que puedan ocasionar vibraciones.</p>	<p>11. Verificar desalineamientos en el ventilador, se pueden presentar por desajuste en los rodamientos.</p> <p>12. Limpiar muy cuidadosamente el polvo de los controles y revisar los contactos de los arrancadores. los contactos que estén quemados deben cambiarse. Manteniendolos juntos y pasando un papel de superficie fina y dura entre ellos.</p> <p>14. Limpieza del Filtro de aceite y combustible.</p> <p>15. Drenar el tanque de condensado: quitar la válvula del flotador y examinar dentro del tanque para ver si hay sedimentos. Vaciar el tanque de condensado: revisar la operación de la válvula flotadora y colocarla nuevamente dentro del tanque.</p> <p>16. Limpiar los electrodos de la parte superior de la caldera. Tenga cuidado de que, al retirarlos no haya presión en la caldera.</p> <p>17. Quitar el tapón que hay en la conexión en cruz debajo de la columna de agua para quitar cualquier sedimento que se hay formado. Esto hay que hacerlo únicamente cuando la caldera esté fría y el nivel de agua por debajo de la conexión de la columna de agua.</p> <p>18. Abrir la puerta delantera y la parte de atrás de la caldera para limpiar los tubos y el hogar. Quitar los impelentes que están dentro de los tubos. Inspeccionar los empaques en ambas puertas y cambiarlos si no están haciendo un cierre hermético.</p>	

PROCESO INSTITUCIONAL O DIVISIÓN (MANTENIMIENTO)		Logo Empresa
PROGRAMA DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO TRIMENSUAL		
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
FECHA	RESPONSABLE	

1. Quitar las tapas de los huecos de acceso (Manhole) para poder inspeccionar y limpiar la parte inferior de la caldera. Permitir que la caldera se enfríe y se desocupe completamente.

2. Quitar todas las tapas de los huecos de inspección (Handhole) y de los huecos de acceso y lavar la parte inferior con una manguera con agua a alta presión. La manguera se introduce por los huecos de la parte superior e inferior con el fin de asegurar que todas las costras o sedimentos sean extraídos de la parte interior del tambor. Quitar el tapón que está en la conexión en cruz debajo de la columna de agua y limpiar la conexión de la caldera.

3. Después de lavar la caldera, la superficie de calefacción debe examinarse cuidadosamente para ver si hay alguna señal de incrustación, corrosión o picadura. Cualquier señal de la presencia de cualquiera de estas indica que la caldera necesita un mejor tratamiento de agua.

4. Deben colocarse empaques nuevos en las tapas de los huecos de inspección (Handhole) o acceso (Manhole) cuando se vuelvan a instalar para cerrar la caldera. Téngase en cuenta que antes de colocar los nuevos empaques las superficies de asiento deben estar completamente limpias. A los nuevos empaques se les debe aplicar un poco de grafito en polvo con el fin de facilitar su remoción la próxima vez que se abra la caldera.

5. Aprovechando que la caldera está apagada, deben revisarse todas las válvulas y grifos de la misma muy cuidadosamente.

6. Para poner nuevamente la caldera en servicio se llena de agua hasta el nivel apropiado; se empieza a levantar la presión lentamente y con una llave se ajustan los huecos de inspección (Handhole) y acceso (Manhole) a medida que la caldera va calentándose.

PROCESO INSTITUCIONAL O DIVISIÓN (MANTENIMIENTO)		Logo Empresa
PROGRAMA DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO ANUAL		
<input type="text"/>	<input type="text"/>	
FECHA	RESPONSABLE	
<p>1. Quitar la válvula de seguridad y la válvula de purga para inspeccionarlas y probarlas: hacer las reparaciones del caso reponerlas o reemplazarlas.</p> <p>2. Quitar y limpiar todos los electrodos.</p> <p>3. Revisar todos los motores y circuitos eléctricos.</p> <p>4. Examinar las bombas de agua y combustible.</p> <p>5. Examinar todas las conexiones de agua y manómetros.</p> <p>7. Limpiar interiormente todos los precalentadores de aceite, tanto los eléctricos como los de vapor.</p> <p>9. Cambiar las válvulas electrónicas de los controles de combustión (modelos antiguos).</p> <p>10. Desmontar el ventilador y revisar cuidadosamente su estado general. Verificar que no existan roturas o desprendimientos en las soldaduras, ni rozamiento, deformaciones o desgastes excesivos por erosión en las paletas del ventilador.</p>	<p>11. En ocasiones, será necesario “hervir la caldera”. El nivel de la columna de agua pueden mostrar espuma u oleaje: esto indica que el agua de alimentación de la caldera tiene grasa o aceite, elementos muy perjudiciales para la caldera. Además, el oleaje causará operación errática de los controles de nivel bajo de agua y de la bomba de alimentación de agua. Tan pronto como se note que se produce espuma u oleaje, la caldera debe “hervirse”. Para esto se debe proceder en la siguiente forma:</p> <p>A. Disolver en agua caliente 1 lb. de soda cáustica y 1 Lb. de fosfato trisódico por cada 100 Gls. de agua que se alimente a la caldera. Quitar la válvula de seguridad y por esa abertura verter la solución.</p> <p>B. Llenar la caldera hasta el tope y conectar una manguera a la salida de la válvula de seguridad hasta un sifón.</p> <p>C. Calentar la caldera lentamente hasta llevarla a ebullición, sin que la caldera levante presión. Mantener la temperatura por 2 horas y después, vaciar y lavar completamente la caldera con una agua a alta presión.</p> <p>D. Antes de cerrar la caldera se examinará cuidadosamente el estado de los tubos y del cuerpo para ver si hay señales de aceite o de grasa: después de cerrada estará en condiciones de generar vapor.</p>	

PROCESO INSTITUCIONAL O DIVISIÓN (MANTENIMIENTO)		Logo Empresa
PROGRAMA DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO MENSUAL (REPARACIÓN DE TUBOS)		
<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	<input style="width: 100%;" type="text"/>	
FECHA	RESPONSABLE	
<p>Cuando haya señales de que un tubo tiene fugas, apague el quemador inmediatamente, cierre la válvula de la línea principal de vapor y mantenga el adecuado nivel de agua en la caldera hasta que esta se enfríe. Enseguida se abren las puertas, delantera y trasera, se examinarán las fugas y se llama inmediatamente al departamento de servicios para que haga la reparación.</p> <p>Si la fuga ocurre en el frente de la caldera, o sea en el placatubo mismo, generalmente puede repararse reexpandiendo el tubo y sellando con soldadura el reborde. Solamente un soldador muy experimentado debe hacer éste trabajo sobre el reborde.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Limpiar muy bien el tubo donde apoyan los rodillos del expandidor. 2. Insertar el expandidor de tubos de rodillos paralelos, teniendo cuidado de que éste corresponda exactamente al tamaño del tubo y que las guías del expandidor queden exactamente dentro del placatubo. 3. Insertar el mandril firmemente en el expandidor. 4. Colocar el mandril y darle vuelta hasta que se afloje. Colocar nuevamente el mandril y repetir la operación. No debe hacerse mucha fuerza para que el tubo no se dañe o corte. 		<p>5. Si es necesario, debe usarse una herramienta para ajustar cualquier daño que se haya hecho en el reborde del tubo.</p> <p>La segunda clase de fuga puede localizarse en el tubo mismo. Esta fuga se ocasiona generalmente, por condiciones malas de agua, ruptura o sobrecalentamiento del tubo. En este caso hay que cambiar el tubo inmediatamente o taponarlo temporalmente mientras pueda cambiarse.</p> <div style="background-color: #e0e0e0; text-align: center; padding: 5px; margin: 10px 0;">QUITAR UN TUBO DEFECTUOSO.</div> <ol style="list-style-type: none"> 1. Se separa de la placa el reborde del tubo con un cincel de punta roma. Debe tenerse mucho cuidado de no ir a dañar el placatubos. Se hace una incisión de 1 ½" en la parte superior e inferior del tubo con un cincel especial para esta clase de trabajos. 2. En la parte de atrás del placatubo será necesario quitar la soldadura con esmeril o cincel. Debe tenerse mucho cuidado de no dañar el placatubo. Después de que se hayan hecho las incisiones se pliega el tubo con unas pinzas y se saca. 3. Se examina el orificio en donde estaba el tubo para ver si hay asperezas, incisiones o raspaduras profundas; se rellenan con soldadura y se pulen hasta la superficie quede perfectamente lisa. El nuevo tubo que se coloque debe ser del mismo calibre del que se quita y debe sobresalir del placatubo 3/16" para permitir su rebordeo. El tubo debe entonces expandirse y lo que sobresale y rebordearse.

PROCESO INSTITUCIONAL O DIVISIÓN (MANTENIMIENTO)		Logo Empresa
PROGRAMA DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO MENSUAL (REPARACIÓN DE TUBOS)		
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
FECHA	RESPONSABLE	
PROCEDIMIENTO PARA PRUEBA HIDROSTÁTICA		
<p>1. Quitar la válvula de seguridad y colocar un tapón en el orificio. Cerrar completamente el registro del "Pressuretrol" y de la válvula de vapor principal. Abrir el grifo triple de la parte superior y el grifo de mira de inspección y llenar la caldera colocando el conmutador del control de la bomba de alimentación de agua en posición "manual". Cuando el agua salga por el grifo superior, apagar la bomba y cerrar la válvula de la mirilla de vidrio y el grifo triple.</p> <p>2. Subir la presión constantemente encendiendo y apagando la bomba para que la presión ascienda de unas 5 a 10 Lbs. cada vez. Cuando la presión llegue a 1 ½ veces la presión de trabajo de la caldera, apagar la bomba y hacer un examen minucioso del placatubo y de los tubos para verificar si hay fugas.</p> <p>3. Al comprobar la ausencia de fugas, abrir la válvula de desfogue situada debajo de la caldera para aliviar la presión: colocar las válvulas de seguridad y cerrar las puertas delantera y trasera.</p>		

ANEXO 4. Orden de Trabajo Caldera Pirotubular

PROCESO INSTITUCIONAL O DIVISIÓN (MANTENIMIENTO)				Logo Empresa
ORDEN DE TRABAJO - CALDERA PIROTUBULAR				
Elaboró documento	Código documento	No. Revisión	Página 1 de 1	

Número de OT:		Fecha:	
Equipo:		Número de Inventario:	
Ubicación del equipo:		Sección:	
Nombre del Solicitante:			
NIVEL DE PRIORIDAD			
Emergencia		Urgente	
Normal		Rutinaria	
MOTIVO DE LA INTERVENCIÓN.			
Requiere parada de planta		Ejecutar durante operación normal	
DESCRIPCIÓN DE TAREAS A EJECUTAR.			
FECHA PARA ENTREGA:			
EJECUCIÓN			
Fecha de ejecución:			
Nombre operario que ejecuta la tarea:			
Fecha y hora de inicio:			
Fecha y hora de finalización:			
Tiempo empleado:			
Tiempo de parada no programada:			
COSTOS			
Mano de Obra	Parada Programada		
Parada no Programada.	Materiales.		
TOTAL			

<hr style="border: none; border-top: 1px solid black; margin-bottom: 5px;"/> Firma Solicitante	<hr style="border: none; border-top: 1px solid black; margin-bottom: 5px;"/> Firma Ingeniero Jefe
---	--

ANEXO 5. Guía de Análisis de Falla – Caldera Piro tubular

PROCESO INSTITUCIONAL O DIVISIÓN (MANTENIMIENTO)		
GUÍA DE ANÁLISIS DE FALLA - CALDERA PIROTUBULAR		
Página 1 de 9	MOTORES ELÉCTRICOS	
Logo Empresa		
AVERÍAS ELÉCTRICAS.		
INDICIO	CAUSA	CORRECCIÓN
Motor no marcha en vacío o lo hace difícilmente	A. Falso empalme del interruptor estrella triángulo; B. Interruptor en un punto de empalme o devanado. C. El motor o ventilador rozan.	A. Rectificar la conexión. B. Localizar la interrupción y eliminarla. C. Buscar avería mecánica que produce el rozamiento y eliminarla.
Alto calentamiento en el devanado del estator.	A. Frecuencia de funcionamiento demasiado alta. B. Falsa conexión. C. Falso empalme eléctrico. D. Sobrecarga. E. Interrupción en punto de empalme o devanado. F. Corto circuito en el devanado o contacto a tierra. G. Vías del aire de refrigeración obstruidas.	A. Reducir la carga. B. Eliminar averías mecánicas.
Durante la carga disminuye la velocidad de rotación del motor y aumenta el deslizamiento.	A. Falso empalme o conexión. B. Sobrecarga. C. Interrupción en punto de empalme o devanado. D. Corto circuito en el devanado o contacto a tierra.	A. Rectificar la conexión. B. Reducir la carga. C. Localizar la interrupción y eliminarla. D. Revisar si hay contactos entre espiras y eliminarlas.
Motor zumba	A. Interrupción en un punto de empalme o en el devanado B. Corto circuito en el devanado.	A. Localizar la interrupción y eliminarla. B. Revisar si hay contactos entre espiras y eliminarlas.
Cojinetes demasiado calientes.	A. La tensión en la red y la frecuencia son muy reducidas. B. Frecuencia de maniobras demasiado elevadas. C. Falsa conexión. D. Sobrecarga.	A. Reducir la carga. B. Prolongar el tiempo de refrigeración o reducir la frecuencia de trabajo. C. Rectificar la conexión. D. Reducir la carga.

PROCESO INSTITUCIONAL O DIVISIÓN (MANTENIMIENTO)		Logo Empresa
GUÍA DE ANÁLISIS DE FALLA - CALDERA PIROTUBULAR		
Página 2 de 9	MOTORES ELÉCTRICOS	

AVERÍAS MECÁNICAS.		
INDICIO	CAUSA	CORRECCIÓN
Alto nivel de vibración.	A. Falsa colocación del motor. B. Masa centrífuga en el motor. C. Presenta desalineamientos.	A. Mejorar la colocación del motor. B. Buscar la causa mecánica y repararla. C. Alinear y acoplar nuevamente, comprobar estado de los cojinetes.
Cojinetes demasiado calientes.	A. Exceso de grasa en el cojinete. B. Presencia de cuerpos extraños en el cojinete. C. Holgura del cojinete demasiado pequeña. D. Defectos en las superficies del cojinete. E. Montaje incorrecto, cojinetes inclinados. F. Deficiente lubricación. G. Presenta desalineación. H. Correa demasiado tensa. I. Empuje axial excesivo.	A. Eliminar excesos de grasa. B. Comprobar estado de los cojinetes, si es el caso se deben cambiar. C. Cambiar cojinete. D. Corregir falla mecánica, Comprobar estado de los cojinetes. E. Comprobar estado de los cojinetes F. Alinear y acoplar de nuevo. G. Alinear y acoplar de nuevo. H. Comprobar estado de los cojinetes.
Golpeteo en los cojinetes.	A. Presencia de cuerpos extraños en el cojinete. B. Holgura del cojinete demasiado pequeña. C. Montaje incorrecto, cojinetes inclinados. D. Defectos en la superficie del rodamiento.	A. Comprobar el estado del cojinete y cambiarlo. B. Cambiar cojinete. C. Alinear y acoplar de nuevo. D. Cambiar cojinete.
Presencia de ruidos agudos en el cojinete (silbido).	A. Holgura del cojinete demasiado pequeña. B. Defecto en el montaje, cojinete inclinado.	A. Cambiar los cojinetes. B. Buscar falla mecánica y cambiar cojinetes de ser necesario.
Desgaste excesivo de cojinetes.	A. Presencia de cuerpos extraños en el cojinete. B. Defectos superficiales. C. Montaje incorrecto, cojinetes inclinados. D. Deficiente lubricación. E. Se encuentra desalineado. F. Correa demasiado tensa. G. Empuje axial excesivo.	A. Comprobar el estado del cojinete y cambiarlo. B. Comprobar el estado del cojinete y cambiarlo. C. Comprobar el estado del cojinete y cambiarlo. D. Comprobar el estado del cojinete y cambiarlo. E. Alinear y acoplar de nuevo. F. Alinear y acoplar de nuevo.

PROCESO INSTITUCIONAL O DIVISIÓN (MANTENIMIENTO)		Logo Empresa
GUÍA DE ANÁLISIS DE FALLA - CALDERA PIROTUBULAR		
Página 3 de 9	BOMBAS	

BOMBA DE COMBUSTIBLE.		
INDICIO	CAUSA	CORRECCIÓN
Combustible no es bombeado.	A. Obstrucción en tubería de succión. B. Goteos dañinos en el lado de la succión C. Rotación falsa del eje. D. Rotación falsa del eje.	A. Reducir vacío que se forma. B. Se detectan sumergiendo el lado de succión en aceite para determinar burbujas de aire. C. Corregir la rotación del eje. D. Verificar el acoplamiento o la transmisión.
Capacidad baja de la bomba.	A. Aire en el lado de la succión. B. Diámetro del lado succión reducido, taponamientos C. Velocidad de la bomba baja. D. Filtro obstruido. E. Desgaste de la bomba, lo que permite un bajo suministro de líquido.	A. Verificar roturas en la tubería de succión, corregir tubería. B. Se detecta ubicando un manómetro de vacío, cuyo valor máximo no puede exceder 15 psi. C. Revisar funcionamiento del motor. D. Secarlo y limpiarlo. E. Revisar tolerancias de acuerdo a especificaciones de fabricante.
Suministro de agua pulsante.	A. Hueco en la línea de succión. B. Presencia de aire o vapor en el combustible	A. Corregir tubería. B. Verificar fugas en la tubería de suministro.
Desgaste o pérdida de potencia.	A. Presión elevada de combustible. B. Fluido más viscoso que el usual. C. Líneas de succión o descarga obstruidas. D. Defectos mecánicos.	A. Verificar y ajustar la presión del combustible. B. Verificar condiciones del combustible. C. Verificar que no existan taponamientos en tuberías, corregir. D. Ejes desalineados o torcidos.
Presencia de ruidos	A. Desalineamientos o defectuoso diseño de acople al motor. B. Presencia de vibraciones como consecuencia de ejes torcidos. C. Aire en el lado de succión de la bomba.	A. Corrección de acoples. B. Corrección o cambio de ejes de transmisión. C. Verificar fugas y diámetros en el lado de succión.

PROCESO INSTITUCIONAL O DIVISIÓN (MANTENIMIENTO)		Logo Empresa
GUÍA DE ANÁLISIS DE FALLA - CALDERA PIROTUBULAR		
Página 4 de 9	BOMBAS	

BOMBA DE COMBUSTIBLE.		
INDICIO	CAUSA	CORRECCIÓN
Fugas de Combustible.	A. Sellos defectuosos o rotos.	A. Cambio de sellos.

PROCESO INSTITUCIONAL O DIVISIÓN (MANTENIMIENTO)		Logo Empresa
GUÍA DE ANÁLISIS DE FALLA - CALDERA PIROTUBULAR		
Página 5 de 9	BOMBAS	

BOMBA DE AGUA DE ALIMENTACIÓN.		
INDICIO	CAUSA	CORRECCIÓN
Condensado no es bombeado.	A. Rotación errónea del eje. B. Eje no rota.	A. Corregir rotación del eje. B. Verificar el acoplamiento y el motor.
Baja capacidad de la bomba.	A. Baja velocidad de la bomba. B. Desgaste de las partes móviles.	A. Verificar funcionamiento del motor, ajuste del acople. B. Verificar criticidad del desgaste, cambiar elementos.
Pérdida de potencia.	A. Líneas de succión y/o descarga obstruidas. B. Defectos mecánicos.	A. Limpiar tubería de las obstrucciones. B. Realizar una inspección del defecto para corregir.
Ruidos.	A. Vibración. B. Partes defectuosas en la unidad. C. Desalineamiento o mal diseño de acople con el motor.	A. Verificar estado del eje de la bomba. B. Evaluar estado mecánico del componente. C. Verificar acople del conjunto bomba - motor
Fugas de condensado.	A. Sellos rotos o defectuosos.	A. Cambiar sellos.

PROCESO INSTITUCIONAL O DIVISIÓN (MANTENIMIENTO)		Logo Empresa
GUÍA DE ANÁLISIS DE FALLA - CALDERA PIROTUBULAR		
Página 6 de 9	BOMBAS	

BOMBA DE AGUA DE ALIMENTACIÓN.		
INDICIO	CAUSA	CORRECCIÓN
Bomba no ceba o pierde cebado.	A. Entrada de aire en el lado succión. B. Coladera de succión sucia. C. Altura de succión muy elevada. D. sello mecánico defectuoso.	A. Limpiar y asegurar las conexiones de la succión. B. Retirar y limpiar la tubería de succión C. Reevaluar la posición de la bomba. D. Cambiar sello mecánico.
Bomba no descarga.	A. Bomba mal cebada. B. Motor no tiene velocidad adecuada. C. El rotor o la línea de descarga están atascados. D. Sentido de giro contrario.	A. Cebiar nuevamente. B. Revisar voltaje y frecuencia de alimentación del motor. C. Desarmar tuberías y bomba para limpiar. D. Revisar sentido de giro del motor.
Presión insuficiente.	A. excesiva cantidad de aire o vapor en el líquido. B. Motor sin velocidad de giro, o giro contrario. C. Tapa de voluta, carcasa o rotor desgastados.	A. Revisar punto de sellado, mencionado anteriormente. B. Corregir problemas de la fuente eléctrica. C. Reparar haciendo un nuevo kit.

PROCESO INSTITUCIONAL O DIVISIÓN (MANTENIMIENTO)		Logo Empresa
GUÍA DE ANÁLISIS DE FALLA - CALDERA PIROTUBULAR		
Página 7 de 9	QUEMADORES	

VÁLVULA REGULADORA DE COMBUSTIBLE.		
INDICIO	CAUSA	CORRECCIÓN
Quemador no arranca	A. Bajo nivel de agua. B. Fusibles quemados. C. Contactos de control sucios.	A. Verificar el corte por bajo nivel, verificar la bomba. B. Revisión y cambio de fusibles. C. Realizar limpieza de contactos.
Piloto no enciende.	A. Abertura del electrodo muy grande. B. Tubería de gas tapada, o falta de gas. C. Contactos de control sucios.	A. Cerrar un poco la abertura del electrodo. B. Limpieza de tubería para destaponar, verificar suministro de gas. C. Realizar limpieza de contactos.
Válvula moduladora de combustible no abre.	A. No enciende el piloto. B. Piloto enciende pero no se visualiza la llama.	A. Consultar casilla anterior. B. Limpieza del tubo o la mirilla.

PROCESO INSTITUCIONAL O DIVISIÓN (MANTENIMIENTO)		Logo Empresa
GUÍA DE ANÁLISIS DE FALLA - CALDERA PIROTUBULAR		
Página 8 de 9	INTERCAMBIADORES	

BOMBA DE AGUA DE ALIMENTACIÓN.		
INDICIO	CAUSA	CORRECCIÓN
Escape externo.	A. Desgaste de los empaques de las bridas. B. Rotura por el lado casco o de las tapas.	A. Corregir rotación del eje. B. Verificar el acoplamiento y el motor.
Mezcla interna de los fluidos.	A. Tubería rota, rajada, porosidades en los cabezales. (Se nota la falla por contaminación que produce al salir del intercambiador)	A. Desmontar sistema de tubos, verificar cual tubo es el que presenta la anomalía. B. Cambiar empaques.

PROCESO INSTITUCIONAL O DIVISIÓN (MANTENIMIENTO)		
GUÍA DE ANÁLISIS DE FALLA - CALDERA PIROTUBULAR		
Página 9 de 9	CONTROLES DE LA CALDERA	
Logo Empresa		
CONTROLES DE LA CALDERA.		
INDICIO	CAUSA	CORRECCIÓN
Voltajes nulos o insuficientes en los terminales.	A. Interruptores desconectados. B. Fusibles quemados. C. Conductores rotos. D. Alambrados incorrectos.	A. Verificar conexiones. B. Reemplazar fusibles quemados. C. Reemplazar conductores. D. Verificar alambrados y corregir.
Relés no permiten acción.	A. Defecto del programa de control. B. Contactos sucios o abiertos. C. Alambrados incorrectos. D. Defectos de los tubos eléctricos.	A. Corregir defectos en el programa de control (reemplazo). B. Limpiar contactos, cerrarlos. C. Cambio de alambrados. D. Reemplazar tubos defectuosos.
No se establece la llama del piloto.	A. Voltaje insuficiente entre terminales de controlador. B. Contactos sucios o abiertos. C. Defectos en la electroválvula de gas. D. Defecto del temporizador de ignición o electrodos. E. Presión insuficiente del gas. F. Mal ajuste del quemador. G. Alambrado incorrecto del sistema de ignición.	A. Limpiar tubería de las obstrucciones. B. Realizar una inspección del defecto para corregir.
Válvulas de combustible se energizan, pero no enciende la llama principal.	A. Piloto inundado. B. Ajuste incorrecto del quemador. C. No hay combustible en la línea principal.	A. Revisar piloto, limpiarlo. B. Verificar ajuste óptimo del quemador. C. Verificar suministro de combustible.
Se enciende la llama principal, pero luego se apaga.	A. Disparo del interruptor de bloqueo. B. Interruptores, circuitos de control de operación se encuentran abiertos. C. Suciedad entre contactos.	A. Enfriar el interruptor de bloqueo, luego accionar. B. Verificar los circuitos para garantizar que esté cerrado. C. Limpieza de contactos.

ANEXO 6. Formato Reporte de Accidente en Caldera Piro-tubular

PROCESO INSTITUCIONAL O DIVISIÓN (MANTENIMIENTO)				<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 80px; margin: auto;"> Logo Empresa </div>
REGISTRO DE ACCIDENTES EN CALDERA PIROTUBULAR				
Elaboró documento	Código documento	No. Revisión	Página 1 de 1	

<input style="width: 20px; height: 20px;" type="text"/> <input style="width: 20px; height: 20px;" type="text"/> <input style="width: 20px; height: 20px;" type="text"/>	<input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/>	<input style="width: 20px; height: 20px;" type="text"/> <input style="width: 20px; height: 20px;" type="text"/> <input style="width: 20px; height: 20px;" type="text"/>
---	---	---

FECHA DE ACCIDENTE	HORA	FECHA DE INVESTIGACIÓN DE ACCIDENTE
---------------------------	-------------	--

PERSONAL INVOLUCRADO EN EL ACCIDENTE	


LOCALIZACIÓN DEL ACCIDENTE	


NATURALEZA DEL ACCIDENTE	

NOMBRE DE TESTIGOS.	

OBSERVACIONES:	

ANEXO 8. Programa de Inspección caldera marca continental de Bienestar Universitario de la UIS.

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER DIVISIÓN DE MANTENIMIENTO TECNOLÓGICO				 Universidad Industrial de Santander CONSTRUIAMOS FUTURO
PROGRAMA DE INSPECCIÓN DE CALDERA PIROTUBULAR				
Elaboró: Sergio Andrés Jaimes	Documento 0001	No. Revisión 0001	Página 1 de 8	
OBJETIVO				
Establecer lineamientos para realizar la inspección visual y evaluación de las condiciones de instalación y operación de la Caldera Pirotubular.				
ALCANCE				
Aplica para el mantenimiento de los siguientes dispositivos: Caldera Pirotubular.				
DOCUMENTOS DE REFERENCIA				
<ul style="list-style-type: none"> ○ Norma API RP 581 ○ Norma ASME Sección 8 ○ Propuesta de Reglamento Técnico Colombiano de Calderas RTC (Ministerio de Protección Social) 				
POLÍTICAS INSTITUCIONALES (OPCIONAL)				
Políticas institucionales de Mantenimiento y Conservación de equipos				
PERSONAL Y RESPONSABILIDADES				
<ul style="list-style-type: none"> ○ Responsable de Mantenimiento: Realizar la inspección, evaluar condiciones y documentar resultados. Presentar las propuestas para mejoramiento. ○ Técnico Operador: Acompañar el proceso de inspección, disponer el espacio y las condiciones para la ejecución de actividades y cambios solicitados. 				
RECURSOS				
<p>Recurso Humanos: Inspector(es) (Responsable(s) de Mantenimiento) y Técnico(s) (Operador(es) del Equipo)</p> <p>Recurso Físicos: Elementos de Protección Personal (EPP's)</p> <p>Recurso Financieros: No se requiere – Se necesita presupuesto para implementar acciones de mejora posterior a la inspección alcance de este documento (como Adecuaciones de Infraestructura, instalaciones, sustitución de componentes, implementación de técnicas de inspección especializadas, entre otras).</p>				

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER DIVISIÓN DE MANTENIMIENTO TECNOLÓGICO				 Universidad Industrial de Santander CONSTRUIMOS FUTURO
PROGRAMA DE INSPECCIÓN DE CALDERA PIROTUBULAR				
Elaboró: Sergio Andrés Jaimes	Documento 0001	No. Revisión 0001	Página 1 de 8	

ACTIVIDADES DEL PROGRAMA

1. Establecer con anticipación Fecha y Hora para realizar la Actividad de Inspección – Acordar con el departamento o unidad que requiere el funcionamiento de la Caldera y los técnicos encargados de su operación.
2. Solicitar permisos de trabajo correspondientes.
3. Realizar inspección visual del dispositivo y diligenciar el Formato correspondiente (Formato de Inspección General de Caldera Pirotubular), calificando la conformidad o no de las afirmaciones y requerimientos establecidos.
4. Documentar las observaciones adicionales de las condiciones observadas.
5. Analizar la información recolectada, las no conformidades presentadas y las observaciones adicionales presentadas en la Visita.
6. Presentar las Acciones orientadas a realizar las mejoras del Sistema y Acondicionamiento, de manera tal que las no conformidades sean corregidas.

Nota: Solicitar el presupuesto y la aprobación de las actividades en instancias Directivas sustentado con el riesgo presente en el equipo.

INSTRUCTIVOS


No Aplican

FORMATOS

- o Formato de Inspección General de Caldera Pirotubular (Código 0001)

ANEXOS

- o Formato de Inspección General de Caldera Pirotubular (Código 0001)

PROGRAMA DE INSPECCIÓN DE CALDERA PIROTUBULAR			 Universidad Industrial de Santander CONSTRUIMOS FUTURO
INSPECCIÓN GENERAL DE CALDERA PIROTUBULAR			
Código Formato: 0001	No. Revisión 0001	Página 1 de 8	



FECHA INSPECCIÓN:	15/07/2010	RESPONSABLE INSPECCIÓN	SERGIO JAIMES
--------------------------	------------	-------------------------------	---------------



IDENTIFICACIÓN DEL DISPOSITIVO: CALDERA PIROTUBULAR					
MARCA DISPOSITIVO:		CONTINENTAL			
MODELO:	E52C30-C26	REFERENCIA:	CCO-760	CÓDIGO INVENTARIO:	23456
Condiciones de Operación:					
Presión Máx. Operación	75 Psi	Combustible de Trabajo:	Gas Natural	Capacidad:	1100 lb / hr



Realice la inspección visual de las condiciones e instalaciones del dispositivo a través de la verificación de los requisitos que se presentan a continuación, señalando en la casilla que se encuentra en frente si se encuentra Conforme C si No es Conforme NC o si no aplica al dispositivo NA

Disposiciones locales

Local de caldera exclusivo para alojar la unidad y equipos auxiliares.	<input type="checkbox"/> C	Dispone de llegadas de aire canalizadas mínimo de 10 cm ² / Kw	<input type="checkbox"/> NC
Pisos, techos y paredes completamente limpios	<input type="checkbox"/> NC	Área disponible para suministro de aire mayor a la capacidad nominal de entrada de quemadores.	<input type="checkbox"/> NC
Existe drenaje ubicado en el piso	<input type="checkbox"/> NC	Existencia de sistemas de iluminación alternos para caso de emergencia.	<input type="checkbox"/> NC
Distancia entre propiedades, habitaciones, vías públicas, depósitos de combustible a la caldera mínimo 3 mt.	<input type="checkbox"/> C	Local de calderas no se encuentra ubicado bajo talleres, sitios de trabajo o vivienda	<input type="checkbox"/> NC
Altura de local (piso- techo) mínimo 3 mt.	<input type="checkbox"/> NC	No existe almacenamiento de combustible en local de calderas	<input type="checkbox"/> NC
Altura de techo a válvulas o accesorios mínimo de 1 mt.	<input type="checkbox"/> NC	Elementos para control de incendio se encuentran en estado óptimo y ubicados en sitio fijo, de fácil acceso y libre de obstáculos	<input type="checkbox"/> C
Ventanillas de ventilación y combustión de área equivalente a 1/10 del área de local de caldera.	<input type="checkbox"/> NC	Local presenta señalización de vías de evacuación.	<input type="checkbox"/> NC
Iluminación de local de caldera adecuado. Mínimo 150 luxes.	<input type="checkbox"/> NC	Sensor de alarma sonora y visual de detección de fugas o escapes.	<input type="checkbox"/> C
Base de caldera construida en material incombustible, de mínimo 10 cm de altura.	<input type="checkbox"/> C	Calderas mayores a 500 Kw deben disponer de dos salidas de emergencia, situadas el lados opuestos.	<input type="checkbox"/> NA
Presencia de extintor de incendio multipropósito, con fácil acceso, ubicado a mínimo 1,5 mt del suelo.	<input type="checkbox"/> NC		
Existe aviso de prohibición de entrada a particulares.	<input type="checkbox"/> NC		

PROGRAMA DE INSPECCIÓN DE CALDERA PIROTUBULAR			  CONSTRUIMOS FUTURO
INSPECCIÓN GENERAL DE CALDERA PIROTUBULAR			
Código Formato: 0001	No. Revisión 0001	Página 1 de 8	
Chimeneas			
		Presenta conexión a tierra, con resistencia menor a 5 ohm	NC
Construida en lámina de acero con espesor mínimo de 3 mm	C	Posee tubo de alimentación desde la parte superior hasta el fondo del tanque o hasta mínimo nivel de contención	NC
Área de salida de gases en extremo de chimenea mayor que área de salida de gases de caldera	C	Cumple con medidas de protección contra rayos.	NC
Presenta curvas fuertes y tramos horizontales	C	Base de tanque construida en material no inflamable.	C
Mantiene combustión estable, adecuada velocidad y evita la salida de llamas, chispas y hollín	C	Posee abertura de acceso para mantenimiento y limpieza.	NC
Cumple con valores de emisiones mínimas autorizadas.	NC	Presenta conexión para el recibo, salida y retorno de combustible.	C
Diseño regido por Norma Colombiana sismo-resistente NSR-98	C	Posee conexión para indicador de nivel y temperatura	NC
Presenta caperuza que impide filtración de agua.	C	Presenta conexión para operación de venteo	C
Presenta orificios acequiables para efectuar mediciones de temperatura y análisis de gases.	NC	Presenta conexión para drenaje de agua y sedimentos.	C
Altura superior a 2 mt por encima de construcciones presentes en un área de 10 mt.	NC	Tanque mayores a 3785 litros, deben presentar válvulas de presión y vacío	NA
No hay presencia de fugas o escapes a lo largo del ducto.	C	Presenta sistema de control de rebose de combustible	NC
		Presenta reporte de prueba de hermeticidad	NC
		Posee indicador para llenado máximo visual o audible	NC
Sistema de Almacenamiento de Combustible			
El combustible se confina en tanques adecuados	C	No presenta alimentación por gravedad desde otro tanque superior	C
Tanque construido en lámina de acero de espesor adecuado para capacidad de almacenamiento	C	Tanque con capacidad inferior a 1000 lt, se encuentra ubicado a 1.5 mt de linderos públicos	NA
Posee conexión de venteo, llenado, drenaje con tapón, descarga e indicación de nivel.	C	Tanque mayor a 1000 lt, se encuentra ubicado fuera del recinto de la caldera.	NC
Posee conexión a tierra.	NC	Distancia del tanque a superficie de caldera o tuberías de vapor mayor o igual a 2 mt	NC
Tiene instalada placa metálica de identificación sobre la superficie.	NC	No cuenta con indicadores visuales de vidrio	NC
Presenta símbolo de identificación de riesgo de incendio	NC	Tanques con capacidad superior a 1000 lt, cuenta con dique para control de derrames, con capacidad mayor o igual a 1.5 veces la capacidad del tanque.	NC

PROGRAMA DE INSPECCIÓN DE CALDERA PIROTUBULAR		  CONSTRUIAMOS FUTURO
INSPECCIÓN GENERAL DE CALDERA PIROTUBULAR		
Código Formato: 0001	No. Revisión 0001	Página 1 de 8
Controles		
Presenta control de agua.	<input type="checkbox"/>	Cámara de agua presenta drenaje vertical, no menor de 19.05 mm de diámetro <input type="checkbox"/>
Presenta control de presión de vapor.	<input type="checkbox"/>	Cámara de agua ubicada en punto más bajo que permite su limpieza <input type="checkbox"/>
Presenta control de temperatura.	<input type="checkbox"/>	Presenta segunda protección que corta suministro de combustible, como soporte al primer sistema. <input type="checkbox"/>
Presenta control de suministro de combustible	<input type="checkbox"/>	Presenta como mínimo un dispositivo automático de presión, tarado a un valor menor que la presión máxima de trabajo. <input type="checkbox"/>
Presenta control de combustión, programación del encendido y seguridad de llama.	<input type="checkbox"/>	Posee válvula manual para corte de combustible. <input type="checkbox"/>
Indicadores		
Cuenta con indicador de nivel de agua	<input type="checkbox"/>	Manómetro instalado antes de la válvula reguladora con rango mínimo de 2 veces la presión de la red de suministro. <input type="checkbox"/>
Cuenta con indicador de presión de vapor.	<input type="checkbox"/>	Válvula de regulación de presión acorde con especificaciones del quemador. <input type="checkbox"/>
Cuenta con indicador de temperatura de vapor.	<input type="checkbox"/>	Manómetro instalado después de la válvula reguladora con rango mínimo de dos veces la presión del quemador. <input type="checkbox"/>
Cuenta con indicador de nivel de temperatura de gases.	<input type="checkbox"/>	Presenta válvula de seguridad en la línea del quemador. <input type="checkbox"/>
Dispositivos de Seguridad		
Presenta válvulas de seguridad.	<input type="checkbox"/>	Presenta sensor de llama. <input type="checkbox"/>
Presenta válvulas de cierre rápido para corte de combustible.	<input type="checkbox"/>	Posee interruptor para alta presión del gas con reajuste manual. <input type="checkbox"/>
Alarmas e Interruptores de seguridad presentes.	<input type="checkbox"/>	Presenta segunda válvula de seguridad de cierre rápido. <input type="checkbox"/>
Tablero de control disponible.	<input type="checkbox"/>	Posee interruptor por baja presión de gas. <input type="checkbox"/>
Sistema de agua de alimentación presente.	<input type="checkbox"/>	Presenta temporizador de prepurga. <input type="checkbox"/>
Válvulas, tuberías, y accesorios en buen estado.	<input type="checkbox"/>	Válvula solenoide de corte de gas para piloto de encendido. <input type="checkbox"/>
Dispositivos de Control		
Suministro de agua automático, con su respectivo control.	<input type="checkbox"/>	Posee piloto de encendido. <input type="checkbox"/>
Sistema de corte de combustible automático.	<input type="checkbox"/>	Presenta sistema de ignición eléctrico, asociado al detector de llama e integrado a sistema de purga del gas combustible de la cámara de combustión. <input type="checkbox"/>
Nivel de agua mínimo se encuentra a 5 cm. Por encima de la última hilera superior de los tubos internos.	<input type="checkbox"/>	Posee bomba para suministro de combustible directo al quemador <input type="checkbox"/>
Accionamiento de alarma en punto de nivel de agua máximo y mínimo.	<input type="checkbox"/>	Presenta indicador de presión en la descarga de la bomba de combustible. <input type="checkbox"/>
Presenta filtro para aceite combustible.	<input type="checkbox"/>	Posee válvula de cierre rápido que interrumpe el paso de combustible al quemador. <input type="checkbox"/>
		Presenta sistema de retorno de combustible al tanque, accionado por válvula solenoide. <input type="checkbox"/>

PROGRAMA DE INSPECCIÓN DE CALDERA PIROTUBULAR			  CONSTRUIMOS FUTURO
INSPECCIÓN GENERAL DE CALDERA PIROTUBULAR			
Código Formato: 0001	No. Revisión 0001	Página 1 de 8	



Controles de Combustión, Programación de Encendido y Seguridad de Llama



<p>Dispone de control de llama, controla desde el arranque y durante el funcionamiento normal del equipo. <input type="checkbox"/> C</p> <p>Presenta interruptor que verifica la presión adecuada del aire. <input type="checkbox"/> C</p> <p>Se dispone del certificado de conformidad del tren de regulación para uso de gas natural. <input type="checkbox"/> NC</p> <p>Los venteos están dispuestos hacia la atmósfera exterior. <input type="checkbox"/> C</p> <p>Tuberías de acero al carbono SCH 40 protegidas contra corrosión mediante pintura tipo epóxica de color amarillo (ICONTEC 3458). <input type="checkbox"/> C</p> <p>Tren de gas firme y con aislamiento. <input type="checkbox"/> C</p> <p>Tuberías roscadas para diámetro menor a 50.8 mm con presión menor a 34,5 Kpa y caudal menor a 50 m³ / hr. <input type="checkbox"/> C</p> <p>Tubería soldada y con uso de bridas para diámetro mayor a 50.8 mm. <input type="checkbox"/> NA</p> <p>Tren de gas soldado presenta prueba de hermeticidad. <input type="checkbox"/> NC</p> <p>Tuberías soportadas mediante anclajes libres de esfuerzos mecánicos y dinámicos, sobre elementos estructurales fabricados en perfil de acero. <input type="checkbox"/> NC</p> <p>Tubería fijada mediante abrazaderas metálicas aisladas eléctricamente, permitiendo desplazamiento axial de la tubería. <input type="checkbox"/> NC</p> <p>La distancia mínima entre tubería y caja de fusibles, interruptor, o tuberías con otros servicios es de 20 cm <input type="checkbox"/> C</p> <p>No cuenta con tubería paralela a cables de energía eléctrica <input type="checkbox"/> C</p> <p>No cuenta con tuberías soportada en bandejas útiles como soporte de cableado eléctrico <input type="checkbox"/> C</p> <p>No hay presencia de tuberías cerca de chimeneas, zonas de alta temperatura, materiales inflamables <input type="checkbox"/> NC</p>	<p>Tubería de venteo de combustible líquido es de hierro forjado o acero SCH 40. <input type="checkbox"/> C</p> <p>Tubería de venteo menor a 65 mm puede ser de bronce o cobre. <input type="checkbox"/> C</p> <p>Tubería de conexión al quemador de diámetro mayor a 9.5 mm <input type="checkbox"/> C</p> <p>Tubería de cobre de espesor mínimo de 0.89 mm <input type="checkbox"/> C</p> <p>Tubería para combustible líquido, puede ser roscada hasta un diámetro de 50 mm. <input type="checkbox"/> C</p> <p>No cuenta con accesorios contruidos en hierro fundido <input type="checkbox"/> C</p> <p>Línea de retorno desde el quemador o descarga de la bomba al tanque de suministro presente. <input type="checkbox"/> C</p> <p>Línea de retorno desde el quemador o descarga de la bomba no presenta válvulas u obstrucciones <input type="checkbox"/> C</p> <p>Tubería de succión de la bomba de combustible es hermética. <input type="checkbox"/> C</p>
--	--

Dispositivos Indicadores

Manómetros

<p>Manómetro instalado en el lado vapor de la columna de agua o en la línea de salida de vapor. <input type="checkbox"/> C</p> <p>Son visibles, de fácil acceso y lectura <input type="checkbox"/> C</p> <p>Escala del manómetro en bares; presenta graduaciones visibles de 1 ½ a 3 ½ veces el ajuste de la válvula de seguridad. <input type="checkbox"/> C</p> <p>Su diámetro es mayor o igual a 10 cm <input type="checkbox"/> C</p> <p>Conexión con la caldera mayor a 12.7 mm de diámetro, con válvula de cierre dispuesta en la tubería de conexión. <input type="checkbox"/> C</p> <p>La tubería de conexión al manómetro presenta sifón para sello de agua y prevención de daño por temperatura de vapor. <input type="checkbox"/> C</p>

PROGRAMA DE INSPECCIÓN DE CALDERA PIROTUBULAR			  CONSTRUIMOS FUTURO
INSPECCIÓN GENERAL DE CALDERA PIROTUBULAR			
Código Formato: 0001	No. Revisión 0001	Página 1 de 8	
Dispositivos Indicadores			Presenta placa de identificación clara e imborrable. NC
Termómetros			Especificaciones de válvula presentes en manual de caldera. C
Termómetro que sensa la temperatura del agua, en el lugar próximo a la salida de la caldera. C		Instalada cerca al domo de caldera, en posición vertical y de manera directa sin obstrucciones. C	
Se encuentra ubicado en lugar de fácil acceso y lectura. C		Capacidad para descarga de totalidad de vapor. C	
Escala del termómetro con graduaciones visibles de 1 ½ a 2 veces la máxima temperatura de salida del agua de la caldera (Ajustada en grados °C) C		Si presenta dos válvulas de seguridad, no deben estar ajustadas a la misma presión. NA	
		Conexiones con cuerpo de caldea deben ser cortas, con diámetro adecuado para la descarga. C	
Indicador de Nivel de Agua			Alarmas
Presenta mínimo un indicador de nivel de agua de vidrio. C		Presenta alarma por bajo nivel de agua. C	
Está unido a la columna de agua o caldera por medio de niple mayor a 12.7 mm C		Presenta alarma por corte de combustible. C	
Presenta marca de nivel permisible mínimo de agua, visible todo el tiempo. C		Interruptores	
Nivel de agua en la parte inferior del vidrio mayor a 25 mm por encima del mínimo nivel de agua recomendado. C		Interruptor para bloqueo en altas o bajas presiones de gas al quemador. C	
Diámetro de tubería que conecta la columna de agua al control de nivel de la caldera, mínimo de 25 mm C		Interruptor para bloqueo en baja presión de líquido combustible. C	
Únicamente regulador de nivel de agua, indicador de presión de vapor y purga manual pueden estar unidos a la columna de agua. C		Sistema de Alimentación de Agua	
No presenta válvulas de bloqueo en las líneas de conexión C		Presenta sistema de alimentación de agua y de corte de combustible, que actúa con la señal de nivel de agua. C	
Válvulas de drenaje en ángulo recto, en la parte baja de la caldera para limpieza. (opcional). El tubo de drenaje de la columna de agua no debe ser menor de 19 mm C		Suministro a través de tubería corta entre la bomba y el cuerpo de la caldera, con válvula cheque. C	
Mínimo diámetro de sifón 6.35 mm NC		No cuenta con alimentación directa de agua de red pública C	
		Diámetro de tubería del sistema de alimentación de agua igual al diámetro del orificio de la caldera dispuesta para la alimentación de agua. Para calderas de más de 190 Kw diámetro mínimo de 19mm C	
Dispositivos de Seguridad			Capacidad de la bomba mínimo 1.5 veces la capacidad de evaporación a plena carga. C
Válvulas de Seguridad			Presión de descarga de la bomba mínimo 3% mayor a la presión de ajuste de cualquier válvula de seguridad, más el valor por pérdidas. C
Dispone mínimo de una válvula de seguridad. C			
Caldera con superficie de calentamiento mayor a 50 m ² , presenta dos o más válvulas de seguridad. NA			

PROGRAMA DE INSPECCIÓN DE CALDERA PIROTUBULAR			 Universidad Industrial de Santander  CONSTRUIMOS FUTURO
INSPECCIÓN GENERAL DE CALDERA PIROTUBULAR			
Código Formato: 0001	No. Revisión 0001	Página 1 de 8	

- | | | | |
|---|--------------------------|--|--------------------------|
| Caldera con superficie de transferencia de calor superior a 50 m ² , debe disponer de por lo menos dos bombas de alimentación independientes. | <input type="checkbox"/> | Conexión para suministro de agua con regulador de suministro | <input type="checkbox"/> |
| Instalación de manómetro en la descarga de las bombas. | <input type="checkbox"/> | Conexión para rebose | <input type="checkbox"/> |
| Puerto de descarga de la tubería de alimentación a la caldera, permite nivel de agua por encima del nivel mínimo permitido dentro de la caldera | <input type="checkbox"/> | Conexión para drenaje | <input type="checkbox"/> |
| Bomba de accionamiento automático | <input type="checkbox"/> | Conexión para succión de la bomba | <input type="checkbox"/> |
| Presenta tanque de condensados o tanque de agua de alimentación con volumen suficiente para cubrir requerimientos a máxima capacidad operando durante 15 minutos. | <input type="checkbox"/> | Indicador de nivel de agua | <input type="checkbox"/> |
| | | Indicador de temperatura. | <input type="checkbox"/> |
| | | Distancia entre tubería de drenaje y conexión de purga por la parte inferior mínimo 30 cm. | <input type="checkbox"/> |
| | | Desfogues no deben descargar sobre vías de circulación de personal | <input type="checkbox"/> |
| | | Desfogues drenan directamente a la red de aguas negras (Prohibido) | <input type="checkbox"/> |

Conexiones y Dispositivos Tanque de Agua

- | | |
|---------------------------|--------------------------|
| Conexión para retorno | <input type="checkbox"/> |
| Conexión para ventilación | <input type="checkbox"/> |



OBSERVACIONES

La mayoría de inconformidades se deben a la falta de conocimiento de quien recibe la caldera cuando viene de fábrica.

Corregir inconformidades de acuerdo a RTC.

FIRMA RESPONSABLE DE INSPECCIÓN

ANEXO 10. Formato para orden de trabajo, caldera pirotubular marca continental Bienestar Universitario UIS.

DIVISIÓN DE MANTENIMIENTO TECNOLÓGICO			  CONSTRUIMOS FUTURO
ORDEN DE TRABAJO EN CALDERA PIROTUBULAR			
Código Documento	No. Revisión	Página 1 de 1	
Número de OT:		Fecha:	
Equipo:		Número de Inventario:	
Ubicación del equipo:		Sección:	
Nombre del Solicitante:			
NIVEL DE PRIORIDAD			
Emergencia		Urgente	
Normal		Rutinaria	
MOTIVO DE LA INTERVENCIÓN.			
Requiere parada de planta		Ejecutar durante operación normal	
DESCRIPCIÓN DE TAREAS A EJECUTAR.			
FECHA PARA ENTREGA:			
EJECUCIÓN			
Fecha de ejecución:			
Nombre operario que ejecuta la tarea:			
Fecha y hora de inicio:			
Fecha y hora de finalización:			
Tiempo empleado:			
Tiempo de parada no programada:			
COSTOS			
Mano de Obra		Parada Programada	
Parada no Programada.		Materiales.	
TOTAL			
_____ Firma Solicitante		_____ Firma Ingeniero Jefe	

ANEXO 11. Formato registro de accidentes, caldera pirotubular marca continental Bienestar Universitario UIS.

DIVISIÓN DE MANTENIMIENTO TECNOLÓGICO			  CONSTRUIMOS FUTURO
FORMATO DE REGISTRO DE ACCIDENTES CALDERA PIROTUBULAR			
Código Documento	No. Revisión	Página 1 de 1	

<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------

FECHA DE ACCIDENTE	HORA	FECHA DE INVESTIGACIÓN DE ACCIDENTE
---------------------------	-------------	--

PERSONAL INVOLUCRADO EN EL ACCIDENTE

LOCALIZACIÓN DEL ACCIDENTE

NATURALEZA DEL ACCIDENTE

NOMBRE DE TESTIGOS.

OBSERVACIONES:

ANEXO 12. Formato hoja de vida, caldera pirotubular marca continental

Bienestar Universitario UIS.

HOJA DE VIDA

Equipo:	Número de inventario:	Hoja de vida N:
Fecha de servicio:	Próximo servicio:	
INFORMACIÓN ORDEN DE TRABAJO		
Fecha:	Número OT:	
Solicitante:	Ejecutor:	
TRABAJO REALIZADO		
Tipo de Falla:		
Síntomas:		
Defectos encontrados:		
Acción efectuada:		
Chequeo o Evaluación:		
Recomendación para evitar su repetición:		
Otros servicios realizados:		
Materiales y repuestos utilizados		
DATOS DEL TRABAJO.		
Tiempo de servicio:		
Nombre de operadores:		
Tiempo fuera de servicio:		
Costos de la reparación:		
Trabajos no realizados:		
Observaciones:		

Firma Solicitante

Firma Ingeniero jefe

ANEXO 13. Formato seguimiento condiciones de operación.

Hoja de Registro Semanal de condiciones de Operación.



<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------

FECHA	MARCA CALDERA	MODELO	CAPACIDAD	PRESIÓN DE DISEÑO
--------------	----------------------	---------------	------------------	--------------------------

<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
----------------------	----------------------	----------------------

COMBUSTIBLE DE TRABAJO	RESPONSABLE	HOJA No
-------------------------------	--------------------	----------------

Hora	Lectura de manómetros PSI					
	Caldera	Atomización	Combustible	Agua de Alimentación	Salida a Marmitas	Salida a Marmitas (2)
5:00						
6:00						
7:00						
8:00						
9:00						
10:00						
11:00						
12:00						
13:00						
14:00						
15:00						
16:00						
17:00						
18:00						
19:00						

Hoja de Registro diaria de condiciones de Operación.

Hora	Lectura de Indicador de Temperatura °C					
	Combustible	Chimenea	Tanque de agua	Agua de Alimentación	Salida a Marmitas	Salida a Marmitas (2)
5:00						
6:00						
7:00						
8:00						
9:00						
10:00						
11:00						
12:00						
13:00						
14:00						
15:00						
16:00						
17:00						
18:00						
19:00						

Hoja de Registro diaria de condiciones de Operación.

Hora	Indicador de Nivel		
	Caldera	Tanque de agua	Combustible
5:00			
6:00			
7:00			
8:00			
9:00			
10:00			
11:00			
12:00			
13:00			
14:00			
15:00			
16:00			
17:00			
18:00			
19:00			

Horas de Trabajo					
Caldera	1	2	3	4	5
Lectura Anterior					
Trabajo Diario					
TOTAL					

Nivel de Combustible				
	Nivel Anterior	1	2	3
ACPM				
Suministro Galones				

Técnico Responsable

Firma Ing. Responsable

ANEXO 14. Carta Aceptación Propuesta División Mantenimiento Tecnológico UIS

Bucaramanga, 24 de marzo de 2009

Señor(es):

COMITÉ DE PROYECTOS DE GRADO
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

Ciudad

Atentamente me dirijo a ustedes para comunicarles la aceptación, por parte de nuestra división, de la realización del proyecto de grado: "METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE INTEGRIDAD Y EXTENSIÓN DE VIDA ÚTIL DE CALDERAS PIROTUBULARES BASADA EN INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO, IMPLEMENTADA A LA CALDERA DE BIENESTAR UNIVERSITARIO DE LA UIS" que llevará a cabo el estudiante Sergio Andrés Jaimes Pineda, con código estudiantil 2006065, y bajo la asesoría del profesor Rómulo Niño Delgado durante el presente semestre académico.

En espera de óptimos beneficios en pro de la formación ingenieril del estudiante, y que esto redunde a favor de la empresa y de nuestra relación interinstitucional.

Cordialmente,


JOSE AMAYA

UNIVERSIDAD
INDUSTRIAL DE SANTANDER
DIVISION MANTENIMIENTO TECNOLÓGICO
FIRMA AUTORIZADA

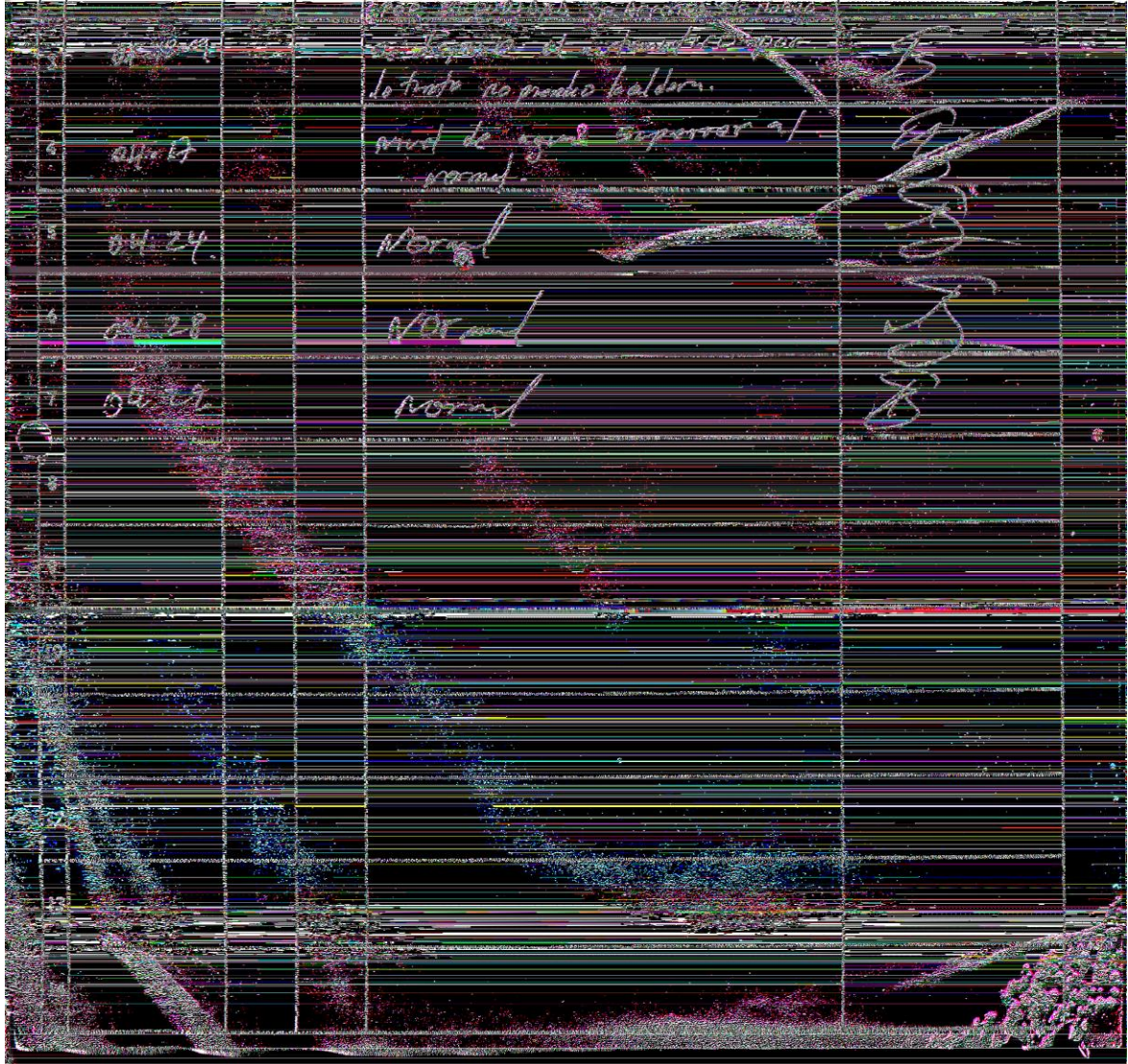
Jefe de Mantenimiento

División de Mantenimiento Tecnológico UIS

ANEXO 15. Único Registro Control de Mantenimiento Caldera UIS

	DIVISIÓN DE BIENESTAR UNIVERSITARIO SECCIÓN COMEDORES Y CAFETERÍA	Código: FBE.66
CONTROL DE MANTENIMIENTO DE LA CALDERA		Versión: 1

#	FECHA DEL MANTENIMIENTO	TIPO DE MANTENIMIENTO		TRABAJO REALIZADO	RESPONSABLE
		PREVEN.	CORRECT.		
1	MAR 20 31 2009.		X	La caldera no prendio x seguridad la raiz de estar cerrada la llave del GAS Se hicieron correcciones en las lineas y NO AVISARON. Esto GENERO además q' se disparo el automatico de la bomba del VENTILADOR.	<i>Rafael A. Penabaz</i>



ANEXO 16. Carta Aceptación Entregables Metodología.