

**Estudio de la Seguridad de la Caldera del Laboratorio de Ingeniería Química de la  
Universidad Industrial de Santander.**

Karen Juliana Guatava Jiménez

**Trabajo de Grado para optar el título de Ingeniera Química.**

**Modalidad Trabajo de Investigación**

**Director**

Gustavo Emilio Ramírez Caballero

PhD. Materials Science and Engineering.

**Codirector**

Astrid Carolina Plata Valdivieso

Magister en Ingeniería Química.

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físicoquímicas

Escuela de Ingeniería química

Bucaramanga

2024

### **Dedicatoria**

*Este trabajo de grado se lo dedico con amor a Dios, mi familia y seres queridos, por su amor, por no permitirme desfallecer, por ser mi motivación para seguir adelante, por siempre llenarme de alegrías y por apoyarme en cada uno de mis sueños.*

*“Todo lo puedo en Cristo que me fortalece”. Filipenses 4:13*

***Karen Juliana Guatava Jiménez***

Para entender y aplicar el Análisis de Riesgos (PHA) el cual es la parte esencial de un Estudio de Seguridad, recordemos las palabras de Albert Einstein: “Los intelectuales resuelvan problemas, los genios los previenen”.

### **Agradecimientos**

Quiero expresar mi profundo agradecimiento, primero a Dios por darme la oportunidad de seguir en este mundo, no rendirme y superar las adversidades. A Él todo el amor y la gloria por siempre.

A mi querida mamita, a mi familia en general, amigos, conocidos, compañeros y mis ángeles del cielo, les agradezco por todo el cariño, por estar siempre a mi lado brindarme de alguna forma ayuda y lo mejor de cada uno.

También quiero extender mi gratitud a cada uno de los profesores que me enseñaron y formaron durante la carrera profesional sin olvidar a Linita. Agradezco enormemente a mi director, Ing. Gustavo Emilio Ramírez, a la Ing. Astrid Carolina Plata, así como a los técnicos del laboratorio de procesos de la Escuela de Ingeniería Química, Eduardo Carreño y Wilson Carreño, por su orientación, ayuda y confianza.

A la Universidad Industrial de Santander, le estoy agradecida en gran magnitud por su apoyo a la educación, la amistad, la colaboración y el aprendizaje que he experimentado en este entorno. Gracias por abrir la puerta a oportunidades tan maravillosas en la vida.

Mi gratitud es infinita. Muchas gracias a todos.

## Tabla de contenido

<b>Introducción .....</b>	<b>12</b>
1.1. <i>Objetivo General.....</i>	<i>13</i>
<b>1. Objetivos .....</b>	<b>13</b>
1.2. <i>Objetivos Específicos.....</i>	<i>13</i>
<b>2. Marco Conceptual .....</b>	<b>13</b>
2.1. <i>Análisis de Peligros del Proceso (Process Hazard Analysis-PHA) .....</i>	<i>13</i>
<b>3. Estado del arte.....</b>	<b>15</b>
<b>4. Metodología .....</b>	<b>17</b>
4.1. <i>Plan de Registro .....</i>	<i>18</i>
<b>5. Resultados.....</b>	<b>21</b>
5.1. <i>Límites y Alcance .....</i>	<i>22</i>
5.2. <i>Equipo convocado para realizar el estudio .....</i>	<i>24</i>
5.3. <i>Información del Proceso .....</i>	<i>25</i>
5.4. <i>Identificación de Peligros .....</i>	<i>32</i>
5.5. <i>Peor caso posible.....</i>	<i>35</i>
5.6. <i>Elección de técnicas PHA .....</i>	<i>36</i>
5.7. <i>Priorización de problemas encontrados .....</i>	<i>40</i>
<b>6. Conclusiones .....</b>	<b>46</b>
<b>7. Recomendaciones .....</b>	<b>47</b>
<b>Referencias Bibliográficas .....</b>	<b>48</b>

**Lista de figuras**

<b>Figura 1</b> Relación de Accidentes, Decesos y Lesionados en América 2020 .....	16
<b>Figura 2</b> Caldera Pirotubular-Laboratorio de la Escuela de Ingeniería Química UIS .....	22
<b>Figura 3</b> Esquema de generación de Vapor Caldera Pirotubular-Laboratorio de Escuela de Ingeniería Química UIS. ....	26
<b>Figura 4</b> Diagrama P&ID 1 Sistema de Tratamiento Agua de Alimentación Caldera-Laboratorio de la Escuela de Ingeniería Química UIS. ....	29
<b>Figura 5</b> Diagrama P&ID 2. Sistema de Control de Agua y de Presión Caldera-Laboratorio de la Escuela de Ingeniería Química UIS. ....	30
<b>Figura 6</b> Diagrama P&ID 3. Sistema de Control de Combustión y Presión del Aire Caldera-Laboratorio de la Escuela de Ingeniería Química UIS. ....	31
<b>Figura 7</b> Suavizador de Agua W-101 .....	61
<b>Figura 8</b> Tanque de Condensados- Tanque de Alimentación de Agua T-101 .....	61
<b>Figura 9</b> Control de Nivel Tanque de Condensados.....	62
<b>Figura 10</b> Filtro en Y para agua .....	62
<b>Figura 11</b> Bomba de alimentación P-10. ....	63
<b>Figura 12</b> Control de Nivel de Agua Caldera 01 .....	63
<b>Figura 13</b> Control Auxiliar de Nivel de agua Caldera 01-B .....	64
<b>Figura 14</b> Control Límite de Presión 02 .....	64
<b>Figura 15</b> Válvula de Seguridad .....	65
<b>Figura 16</b> Válvula Gas del Hidra motor (Válvula Electro-Hidráulica) .....	65
<b>Figura 17</b> Ventilador aire .....	66
<b>Figura 18</b> Fococelda Ultravioleta UV2 .....	67
<b>Figura 19</b> Transformador de Encendido.....	67
<b>Figura 20</b> Válvula Solenoide de Ignición .....	67
<b>Figura 21</b> Electrodo de Ignición .....	68
<b>Figura 22</b> Quemador de Gas Natural Fuel Oil S1LGQuemador de Gas Natural Fuel Oil S1LG.	68

**Lista de tablas**

<b>Tabla 1</b> Accidentes en Calderas 2020.....	17
<b>Tabla 2</b> Características de Caldera Pirotubular, Modelo CH2-30-150 Serie A-2644.....	23
<b>Tabla 3</b> Lista de Verificación Caldera Pirotubular-Escuela de Ingeniería Química UIS. ....	37
<b>Tabla 4</b> ¿Qué pasa si... Caldera Pirotubular-Escuela de Ingeniería Química UIS?.....	41
<b>Tabla 5</b> Lista recomendada para la realización de los ensayos periódicos. ....	55
<b>Tabla 6</b> Características del agua procedente del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga ....	69

**Lista de Apéndices**

<b>Apéndice A</b> Normas y estándares para el trabajo en caldera pirotubular.....	52
<b>Apéndice B</b> Equipos del sistema de la caldera pirotubular-laboratorio de la escuela de ingeniería química UIS .....	61
<b>Apéndice C</b> Sustancias proceso de generación de vapor caldera pirotubular .....	69

## Glosario

**Contención primaria:** Estructura que permite contener material para almacenamiento, separación, procesamiento o transferencia.

**Contención secundaria:** Barrera física impermeable para prevenir liberación de material al ambiente producto de la pérdida de contención primaria (LOPC).

**Daño:** Consecuencia de que se produzca un peligro.

**Emergencia:** Es un estado anormal provocado por un evento no deseado ni programado que requiere de una acción inmediata para prevenir lesiones a las personas y/o minimizar daños a la propiedad, a la comunidad y al medio ambiente.

**Gestión del Riesgo:** Enfoque sistemático para identificar, evaluar y controlar los riesgos que enfrenta una organización, y de esta manera reducir la probabilidad de que ocurran eventos no deseados y su impacto. Se aplica a una amplia gama de riesgos como financieros, operativos, ambientales y/o de seguridad.

**Gestión de Seguridad de Procesos (PSM):** Enfoque sistemático para identificar, evaluar y controlar los riesgos asociados con los procesos industriales y operacionales. Su objetivo es prevenir eventos que puedan causar daños en instalaciones industriales que manejan sustancias peligrosas. Su enfoque está en minimizar los riesgos significativos de acuerdo con estándares y por medio de regulaciones específicas.

**Peligro:** Condición física o química que tiene el potencial de causar daño a las personas, la propiedad y el medio ambiente. (Rutgers, 2019)

**Plan de Emergencia:** Es un procedimiento o actividades diseñadas para proteger a las personas, instalaciones, equipos y entorno, que permitan superar una emergencia en un área determinada y establecer acciones a seguir para casos de emergencia personal.

**Riesgo:** Probabilidad de que se produzca un daño y la gravedad del mismo.

**Seguridad de Procesos (Safety):** Área de la ingeniería encargada de elaborar y aplicar técnicas, herramientas y tecnologías que permitan a las industrias de alto riesgo prevenir pérdidas y afectaciones a las personas, el ambiente y la estructura física. Se enfoca en los escenarios de riesgos de baja probabilidad y alta consecuencia, los peligros no son visibles, son detectados por sistemas instrumentados de control y las consecuencias se enfocan en el impacto a las personas, el medio ambiente, los activos, el negocio y la reputación de la compañía. (Assured, 2022).

**Seguridad Física (Security):** Abarca la protección de activos tangibles, como instalaciones, equipos y recursos materiales, así como la salvaguardia de información sensible, que puede ser comprometida durante incidentes deliberados o delictivos.

**Seguridad Industrial:** Engloba la comprensión de seguridad y salud en el trabajo, priorizando la prevención de accidentes y enfermedades laborales en entornos industriales de baja consecuencia y alta probabilidad de ocurrencia.

**Sistema de Gestión para la Seguridad (SGS):** Conjunto de procesos, políticas, procedimientos y prácticas diseñadas para identificar, evaluar y gestionar los riesgos relacionados con la seguridad en una organización.

**Vulnerabilidad:** Es la susceptibilidad de los sistemas naturales, técnicos, económicos y sociales al impacto de un flujo de peligros, cualquiera que sea su origen. La vulnerabilidad determina la capacidad de respuesta y recuperación de los blancos impactados.

## Resumen

**Título:** Estudio de la Seguridad de la Caldera del Laboratorio de Ingeniería Química de la Universidad Industrial de Santander.

**Autor:** Karen Juliana Guatava Jiménez

**Palabras Clave:** Seguridad, Riesgos, Peligros, Personas, Infraestructura, Medio Ambiente

**Descripción:** Una parte fundamental de la Gestión de la Seguridad de Procesos es el Análisis de Peligros (PHA), existe una variedad de técnicas, tanto cualitativas como cuantitativas. El propósito primordial del PHA es la identificación, análisis y mitigación de riesgos y peligros potenciales relacionados con un proceso, sistema o instalación industrial.

Para llevar a cabo este análisis, es crucial contar con un plan estructurado, aunque este puede variar según las particularidades del proceso bajo estudio. En el caso de la Caldera Pirotubular situada en el laboratorio de procesos de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad Industrial de Santander, su correcto funcionamiento y operación adecuada deben cumplir con normativas y especificaciones para la seguridad de las personas, la infraestructura y el medio ambiente. Durante el desarrollo del Análisis de Peligros (PHA) de esta caldera, se enfrentaron algunas dificultades debido a la falta de información detallada sobre el equipo en cuestión. Por ende, fue necesario recopilar y analizar minuciosamente la información disponible para de esta manera llegar a concluir que es necesario implementar un SGS y realizar un análisis exhaustivo de la vida útil del equipo.

En términos generales, en el contexto de las Calderas, el peor escenario imaginable sería una explosión, la cual podría ser desencadenada por diversos factores como niveles bajos de agua, problemas estructurales, entre otros. Identificar y abordar estos riesgos de manera proactiva es esencial para garantizar la seguridad como el bienestar de las personas y el entorno.

## Summary

**Title:** Safety Studio of the Boiler of the Chemical Engineering Laboratory of the Industrial University of Santander.

**Author:** Karen Juliana Guatava Jiménez

**Keywords:** Safety, Risks, Hazards, People, Infrastructure, Environment

**Description:** A fundamental part of Process Safety Management is the Analysis of Hazards (PHA), there are a variety of techniques, both qualitative and quantitative. The primary purpose of the PHA is the identification, analysis and mitigation of risks and hazards potentials related to a process, system or industrial installation.

To carry out this analysis, it's crucial to have a structured plan, although this may vary, according to the particularities of the process under study. In the case of the Firetube Boiler located in the process laboratory of the school of Chemical Engineering of the Industrial University of Santander, its correct functioning and proper operation must comply with regulations and specifications for the safety people, infrastructure and the environment. During the development of the Hazard Analysis (PHA) of this boiler, some difficulties were faced due to the lack of detailed information about the equipment in question. Therefore, it was necessary to collect and thoroughly analyze the available information in order to conclude that it is necessary to implement an SGS and carry out an exhaustive analysis of the useful life of the equipment.

Generally speaking, in the context of the Boilers, the worst scenario imaginable would be an explosion, which could be triggered by various factors such as low water levels, structural problems, among others. Identifying and addressing these risks proactively is essential to guarantee the safety and well-being of people and the environment.

### **Introducción**

La seguridad de los procesos juega un papel fundamental en todas las operaciones industriales, ya que su objetivo principal es prevenir, reducir, controlar y eliminar los riesgos y peligros asociados. Esto tiene como fin evitar accidentes, pérdidas financieras y cualquier impacto negativo en la salud, seguridad de las personas, el medio ambiente y los bienes materiales. Además, la seguridad de los procesos es necesaria para cumplir con los requisitos reglamentarios y normas de seguridad establecidas para cada actividad, al tiempo que desempeña un papel importante para darle continuidad al negocio con la garantía del éxito financiero y la protección de la reputación corporativa. La gestión efectiva de los riesgos en los procesos conlleva beneficios de gran alcance. (M. H. Galán, jul. 2017)

Para identificar los riesgos y peligros inherentes a industrias químicas o procesos de producción que involucran el manejo de sustancias químicas, se emplean técnicas de análisis de peligros (PHA). Estas técnicas, mediante un análisis meticuloso, permiten detectar los problemas existentes, su ubicación y cómo abordarlos de manera efectiva.

En el laboratorio de la Escuela de Ingeniería Química de la UIS, lamentablemente, no se ha llevado a cabo un análisis de riesgos y peligros relacionado con los equipos allí instalados. Esta situación genera un déficit de seguridad significativo en un entorno que frecuentemente es utilizado por estudiantes, docentes y personal de la institución. Los riesgos presentes pueden tener un impacto grave en la salud y seguridad de las personas que trabajan en el laboratorio, así como en el entorno circundante. Es fundamental realizar un análisis exhaustivo de los riesgos y peligros presentes en el laboratorio, así como implementar medidas preventivas y correctivas para mitigarlos. De esta manera se podrá garantizar un entorno de trabajo seguro con la premisa de proteger la salud y el bienestar de todos los involucrados.

## **1. Objetivos**

### **1.1. Objetivo General**

Desarrollar la técnica del análisis de peligros (PHA), en el equipo de la caldera dispuesto en la escuela de Ingeniería Química de la Universidad Industrial de Santander.

### **1.2. Objetivos Específicos**

- Establecer y ejecutar el desarrollo de una técnica apropiada para el análisis de peligros (PHA) mediante una investigación bibliográfica, adaptada a las características del equipo de interés.
- Diseñar y estructurar el plan de registro para realizar un análisis de peligros (PHA) para la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad Industrial de Santander.

## **2. Marco Conceptual**

### **2.1. Análisis de Peligros del Proceso (Process Hazard Analysis-PHA)**

La mayoría de los peligros que emergen en un sistema se originan principalmente por defectos de diseño, materiales, mano de obra o errores humanos. En la gestión del riesgo y la PSM utilizando el Sistema de Gestión de la Seguridad (SGS), para que una instalación de producción o transformación de materia opere de forma segura y continua, es fundamental disponer de un sistema que gestione el riesgo asociado al proceso. Esto se consigue mediante un PHA y un Análisis de riesgos. (Felipe Muñoz Giraldo; Rafael Amaya Gómez; Rosa Patricia Romero Bayona; Clara Inés Arbeláez Naranjo, 2015)

Un PHA es la parte fundamental de cualquier programa de Gestión de Seguridad de Procesos (PSM) bien desarrollado (INDUSTRYDOCS, s.f.) con enfoque específico para la seguridad de procesos, también un PHA es una parte importante de todo SGS con un enfoque más amplio que involucra la seguridad organizacional en un contexto más completo. Este análisis permite revelar peligros potenciales y/o problemas de operabilidad que pueden dar lugar a

productos no adecuados. Se realiza este procedimiento en busca de prevenir accidentes, mejorar la seguridad como la operabilidad y garantizar que el proceso se lleve a cabo de manera segura y eficiente sin causar pérdidas económicas ni daños al medio ambiente. (Carmen H. Osorio-Amado; Delmar "Trey" Morrison y Sunil D. Lakhiani, 2021)

Un estudio PHA es una evaluación sistemática y estructurada de los peligros asociados con un proceso, puede involucrar una o más técnicas específicas, los métodos para la evaluación de peligros puede ser cualitativos, enfocándose en analizar las causas y efectos de los accidentes o eventos desencadenados por los peligros identificados. También puede adoptar un enfoque cuantitativo para los escenarios críticos, con el propósito de determinar la probabilidad de que ocurran. Según el tipo de industria o proceso y sus requisitos específicos, se llevan a cabo análisis de peligros mediante estudios como HAZOP, FMEA, What-If, LOPA, entre otros. Estos estudios se utilizan para identificar, evaluar y mitigar los peligros, abordando los eventos indeseables más evidentes de un proceso o planta de producción determinados. Es crucial adaptar el enfoque de análisis de peligros según las particularidades y riesgos inherentes a cada entorno industrial

Luego de la ejecución del PHA se obtiene como resultado un conjunto de recomendaciones y acciones para minimizar o eliminar los riesgos identificados. Las técnicas de PHA fueron diseñadas para evaluar la seguridad en la fase más temprana del proyecto, sin embargo, su aplicación se extiende a procesos existentes, cuando se observa la ausencia o insuficiencia de documentación de referencia. Cabe añadir que actualmente existe numerosa legislación que obliga a implementar un SGS a aquellas instalaciones de producción y transformación de materia, aunque todavía este sistema no tiene una estructura concreta.

El propósito fundamental de las revisiones de PHA es asegurar la prevención de accidentes

catastróficos a lo largo de la vida útil de instalaciones específicas mediante la evaluación de los procesos sometidos a escrutinio. Es esencial que los objetivos de estas revisiones sean exhaustivos, imparciales y adecuados. Entre las ventajas de este tipo de análisis se encuentran la flexibilidad, la economía general y la capacidad para analizar una combinación de fallos.

### 3. Estado del arte

La ocurrencia de eventos accidentales tales como los registrados en Flixborough (Reino Unido, 1974), Seveso (Italia, 1976), San Juan Ixhuatepec (México, 1984), Bhopal (India, 1984), Texas City (Estados Unidos, 2005) y Deep Water Horizon en 2010, entre otros, representan graves riesgos para la vida de los trabajadores, la población circundante, el ambiente y la continuidad de las operaciones. (Felipe Muñoz Giraldo; Rafael Amaya Gómez; Rosa Patricia Romero Bayona; Clara Inés Arbeláez Naranjo, 2015).

Denis Papin creó el digestor a vapor, implementando una válvula de seguridad para controlar la presión del vapor y prevenir explosiones. Las calderas presentaban un alto riesgo como una baja eficiencia debido a su fabricación, dando lugar a una situación peligrosa e ineficiente en términos de aprovechamiento del calor. Desde entonces, se ha vuelto necesario implementar medidas en el proceso de producción de vapor en las calderas para optimizarlo y hacerlo más seguro. (C. W. Thomasset, 2011)

En los últimos años se han registrado accidentes de gran magnitud en Calderas. Por ejemplo, en 2014, según *Redacción Noticiero 90 Minutos*, en Ingenio Mayagüez, Valle del Cauca, ocurrió una explosión al colocar en funcionamiento una caldera durante el mantenimiento. Además, en 2016, en Argentina, según *La Capital*, colapso el laboratorio Apolo (Alem 2967) debido la falta de agua en la caldera para su enfriamiento y al no activarse las válvulas de seguridad ni las alarmas. En 2018, *La Voz de Asturias* menciona el controversial caso de Anleo (Navia)2013, donde una alta demanda de vapor causó un alto nivel de agua en una caldera, dos operarios hicieron

extracción del agua manualmente hasta que la alarma desapareció y se continuo la operación, durante la supervisión una caldera explotó causando quemaduras de segundo y tercer grado en el 90% del cuerpo a un operario que tiempo después murió. En 2019, *CDN37* República Dominicana, expuso el caso de una explosión a causa de encender una caldera de forma irregular donde se sobrepasó la capacidad de presión. En Perú (2020), *EL BÚHO* menciona la explosión de una caldera debido a fallos de protección de seguridad en instalación informal. A finales del 2020, según, *El Tiempo*, se presentó incendio en Incauca S.A. cuando una chispa cayó sobre tanque de fuel oil, que hacía parte de la estructura de la caldera, pero gracias a la activación inmediata del protocolo de seguridad no hubieron heridos ni pérdidas humanas.

Directamente en América, según informe de la corporación CEACA Combustión, Energía & Ambiente C.A., en los últimos años el rango de tendencias de accidentes desfavorables se muestra de la siguiente manera:

### Figura 1

*Relación de Accidentes, Decesos y Lesionados en América 2020*



Fuente: <http://www.ceaca.com/revistas> (CEACA (Combustión Energía Ambiente), 2021)

La mayoría de los accidentes mencionados se dieron por la inadecuada implementación de protocolos de funcionamiento y supervisión, como también las inadecuadas medidas preventivas

para evitar accidentes y barreras para mitigar este tipo de accidentes. Desde la perspectiva mecánica y de seguridad, tanto en su fabricación como durante su vida útil, los equipos generadores de vapor y su entorno laboral deben cumplir con códigos, estándares y regulaciones establecidas. Directamente en Colombia, no hay un reglamento especialmente dirigido para la fabricación, el correcto funcionamiento y la adecuada operación de equipos generados de vapor y Calderas. El país se rige principalmente por estándares y normativa expuestos en el **Apéndice A**, normas de ASME (American Society of mechanical Engineers), ICONTEC (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación), NBIC (Código de Inspección de la Junta Nacional), y, NFPA (National Fire Protection Association).

**Tabla 1***Accidentes en Calderas 2020*

<b>FECHA</b>	<b>PAIS-LOCALIDAD</b>	<b>SECTOR</b>	<b>TIPO DE CALDERA</b>	<b>DECESO</b>	<b>LESIONES</b>
Enero 03	<b>Argentina</b> -Carmensa Mendoza	Alimentos	Pirotubular	0	0
Enero 16	<b>México</b> -Motzorongo Tezonapa	Azucarera	Acuatubular	0	0
Enero 22	<b>México</b> -Texcoco México	Textilería	Pirotubular	0	<b>3</b>
Febrero 17	<b>México</b> -Zapotlanejo Jalisco	Generación	Acuatubular	<b>1</b>	<b>6</b>
Febrero 27	<b>Argentina</b> -Chilenito La Rioja	N/I	Pirotubular	0	0
Marzo 16	<b>Chile</b> -Biobío	Maderero	Pirotubular	0	<b>1</b>
Junio 30	<b>Perú</b> -Arequipa	Taller	Pirotubular	<b>3</b>	<b>3</b>
Julio 09	<b>Colombia</b> -Barranquilla	Taller	Acumulación de gases	0	<b>1</b>
Agosto 06	<b>Ecuador</b> -Manta	Alimentos	Pirotubular	<b>3</b>	<b>8</b>
Agosto 12	<b>Argentina</b> -Ushuaia	Calefacción	Calefacción	0	<b>1</b>
Agosto 20	<b>México</b> -Zumpango	Colchones	Pirotubular	0	0
Agosto 20	<b>Argentina</b> -Alicia	Láctea	Pirotubular	<b>1</b>	0
Octubre 31	<b>Venezuela</b> -Ptos. De Altigracia	Petroquímica	Acuatubular	0	0
Diciembre 08	<b>México</b> -Motzorongo Tezonapa	Azucarera	Tolvas de Caldera	0	<b>2</b>

Fuente: <http://www.ceaca.com/revistas> (CEACA (Combustión Energía Ambiente), 2021)

#### 4. Metodología

El objetivo del PHA se basa en analizar el diseño del proceso, la operación, el mantenimiento, la ubicación de los equipos y del personal en las instalaciones, la acción humana y los factores externos, que podrían provocar lesiones a la comunidad en general, daños al equipo

o impacto ambiental. Un equipo multidisciplinario se encarga de examinar detenidamente el sistema, identifica posibles escenarios de riesgo, evalúa las consecuencias y determina las medidas preventivas o correctivas para mitigar los riesgos identificados.

#### **4.1. Plan de Registro**

La metodología general para realizar un PHA, es la siguiente:

**4.1.1. Definir límites y Alcance ¿Cuáles son los límites?:** Es fundamental identificar el sistema que va a ser analizado. Debe definirse qué equipos, sistemas y actividades se deben incluir como también se debe asegurar que los límites incluyan todos los elementos críticos.

**4.1.2. Convocar un equipo de estudio:** Para llevar a cabo un PHA, resulta esencial contar con un equipo multidisciplinario debidamente conformado. Este equipo está compuesto por expertos en el proceso, operaciones, seguridad y otros campos. A cada miembro se le asignan responsabilidades y roles específicos. (Nolan, Cuarta Edición 2014)

**4.1.3. Revisión de Información del Proceso:** Planificar el estudio a realizar, recopilar y revisar la documentación del proceso, como el diagrama de flujo del proceso y apoyarse de diagramas P&ID, que permiten visualizar de manera más concreta y efectiva las entradas, salidas y las conexiones existentes, junto a esto la información relevante de manuales de operación e información disponible.

**4.1.4. Identificación de Peligros:** Como medida inicial, el sistema se divide en partes. Luego, se selecciona una parte y se define la intención del diseño, identificando las desviaciones mediante palabras guía en cada elemento. Se procede a identificar las causas y consecuencias, y se determina si existe un problema significativo. Además, se identifican los mecanismos de protección, detección e indicación. De esta manera, se pueden identificar los posibles peligros

asociados en sesiones de trabajo, analizando cada elemento crítico del sistema y posibles desviaciones.

**Nota:** La metodología de revisión tiene como objetivo identificar posibles ocurrencias inusuales, anomalías o situaciones de riesgo dentro del sistema en estudio. Se examinan detalladamente los flujos del proceso, desglosando los subsistemas en componentes principales que trabajen en armonía para alcanzar un único objetivo. Además, se identifican las operaciones y áreas críticas donde pueden surgir desviaciones o situaciones problemáticas que requieren atención inmediata.

**4.1.5. El peor caso posible:** En un PHA, es esencial considerar todos los factores que podrían desencadenar un incidente grave o una emergencia. Mediante la exploración de diversos escenarios y situaciones, el objetivo es determinar la situación más crítica y peligrosa que podría presentarse. Identificar el peor caso posible resulta fundamental para garantizar la seguridad y la integridad de las operaciones industriales.

**4.1.6. Selección de Técnica PHA:** Según las características y los objetivos del análisis se elige la técnica, hay muchas técnicas para evaluar el riesgo. Existen metodologías cualitativas y cuantitativas. Las técnicas cualitativas se centran en identificar y comprender los peligros asociados con un proceso o sistema sin asignar valores numéricos específicos a los riesgos identificados como por ejemplo las técnicas que se mencionan a continuación (Puerta, 2007):

*Lista de Chequeo (Checklist)*, al ser un método comparativo es una herramienta práctica y efectiva, la cual de manera organizada y muy sencilla se emplea para identificar peligros. (M. H. Galán, jul. 2017). *HAZOP (Hazard and Operability Study)*, es un método fundamental el cual se usa para identificar desviaciones en el diseño u operación. (Frank Crawley; Brian Tyler, Tercera Edición 2015). *What-If Analysis*, es un método fundamental que emplea la exploración de

escenarios hipotéticos para identificar posibles peligros y desviaciones del proceso. *FMEA (Failure Modes and Effects Analysis)*, es un método fundamental que se centra en identificar modos de fallas potenciales, sus efectos y las medidas de mitigación, además puede incluir elementos cuantitativos. *Árboles de fallas y eventos*, son técnicas de diagramas lógicos de fallas. (M. H. Galán, jul. 2017). *Método SDDF*, se basa en la teoría de la LÓGICA DIFUSA y se centra en las fallas de estructura física de complementos, accesorios del área de equipo y del equipo. (M. H. Cely; A. Sandoval y F. Valencia, 2015). *Redes de Petri*, sistema de diagnóstico que permite la detección e identificación rápida de fallas en el hogar de la caldera. (M. M. Hernández; F. L. y J. López, 2013), entre otras técnicas.

Por otra parte, dentro de las técnicas cuantitativas se encuentran:

*QRA (Quantitative Risk Assessment)*, la cual utiliza modelos matemáticos para calcular la probabilidad y las consecuencias de los diferentes eventos y escenarios de riesgo. *FTA (Fault Tree Analysis)* generalmente se usa para identificar casos de fallas, pero también puede integrarse con un enfoque cuantitativo para el análisis de riesgos. *LOPA (Layer of Protection Analysis)* evalúa las capas de protección existentes y cuantifica la eficacia de estas en la reducción de riesgos. (Nolan, Cuarta Edición 2014). *ISI (Índice de Seguridad inherente de Procesos)*, siendo una evaluación de seguridad se emplea como complemento por medio del cual se analiza los peligros asociados con los productos químicos y las condiciones del proceso. (A. A. Sader y I. N. y Á. D. G. Delgado, 2021)

Entre otras técnicas, está el Análisis de Dinámica de Sistemas (SDA), la cual es una técnica que se utiliza para modelar y comprender sistemas complejos utilizando varios elementos de control, puede ser cualitativa o cuantitativa.

Para completar un Proceso de Gestión del Riesgo al proceso en análisis se continua con:

**4.1.7. Evaluación de Riesgos:** Después de calcular el riesgo (frecuencia y consecuencias), se procede a evaluar la tolerancia ante cada peligro identificado. Si la respuesta es favorable, se adjudica la gestión de seguridad; de lo contrario, se lleva a cabo la reducción de riesgos mediante un Análisis Costo-Beneficio.

**Importante:** Establecer criterios para asignar niveles de riesgo.

**4.1.8. Desarrollo de Medidas de Control:** Para mitigar o eliminar los riesgos se proponen y discuten medidas de control, pueden ser como implementación de sistemas de alarma, capacitación, cambios o modificación a la estructura de los equipos, entre otras medidas.

**4.1.9. Lista de Problemas y Priorización de Riesgos:** Al finalizar el PHA, los riesgos identificados se clasifican en categorías que incluyen niveles bajos, medios y altos, considerando tanto su gravedad como la probabilidad de ocurrencia.

**4.1.10. Documentación y Reporte:** Elaborar un informe comprensible y específico con los resultados del PHA, medidas de control recomendadas y acciones correctivas propuestas.

**4.1.11. Finalización de PHA:** Para finalizar el proceso de forma efectiva, se debe hacer la implementación adecuada de las medidas correctivas y de control propuestas como también revisiones periódicas y proporcionar capacitación continua al personal a cargo. Además, es fundamental cumplir con las regulaciones vigentes.

## 5. Resultados

Para llevar a cabo el PHA, fue necesario recopilar información específica sobre el equipo de estudio, que incluye Diagramas P&ID, propiedades químicas y físicas de los productos involucrados, procedimientos de operación, descripción general del equipo y las purgas, sistemas de control, mantenimiento y equipos de seguridad, niveles de dotación y supervisión, indicadores y rutas de evacuación, como también tipos y cantidad de visitantes, incidentes y cambios

anteriores, planes de respuesta a emergencias, entre otros aspectos. El PHA se realizó de la siguiente manera:

### 5.1. Límites y Alcance

La caldera piro tubular, como se muestra en la **Figura 2**, consiste en una carcasa que contiene agua. Esta agua rodea un grupo de veinte (20) tubos de dos pulgadas (2 in) de diámetro, a través de los cuales circulan los gases de combustión a altas temperaturas. De esta manera, el agua se calienta hasta su evaporación, generando vapor como producto principal. Este tipo de caldera es robusto, resistente y económico, siendo un equipo estable para la producción de vapor y de fácil mantenimiento. Sin embargo, tiene una vida útil más corta y tiende a sobrecalentarse más rápido en comparación con una caldera acuotubular. (Otero, 2023)

#### **Figura 2**

*Caldera Piro tubular-Laboratorio de la Escuela de Ingeniería Química UIS*



Dentro de las limitaciones del sistema de la caldera, se destaca que la instalación original data del año 1994 y fue realizada por un tercero sin la participación del distribuidor del equipo, lo que carece de registro documental. Según las condiciones actuales de operación, se ha recopilado la siguiente información sobre la caldera ubicada en el laboratorio de la escuela de Ingeniería química de la UIS:

**Tabla 2***Características de Caldera Piro-tubular, Modelo CH2-30-150 Serie A-2644*

<b>DATOS TECNICOS</b>		
CAPACIDAD DE LA CALDERA		BHP <b>30</b>
CAPACIDAD TERMICA DE LA CALDERA		Btu/h <b>1,004,250</b>
PRODUCCION DE VAPOR		lb/h <b>1,035</b>
LIBERACION TERMICA		Btu/ft <sup>3</sup> /h <b>119,749</b>
PESO NETO CALDERAS		lb <b>2,589</b>
PESO CALDERA CON AGUA A NIVEL NORMAL		lb <b>4,057</b>
CONSUMO DE ACEITE No. 2	(138000 Btu/gal)	gph <b>9.10</b>
CONSUMO DE GAS NATURAL	(35315 Btu/m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup> /h <b>35.55</b>
<b>DIMENSIONES (PULGADAS)</b>		
ALTURA TOTAL DE CALDERA	A	<b>100 9/16</b>
ALTURA CUERPO	B	<b>94 9/16</b>
DIAMETRO CON AISLAMIENTO	C	<b>40 1/2</b>
DIAMETRO INTERIOR DE CALDERA	D	<b>36</b>
ALTURA CAMARA DE HUMOS	E	<b>7</b>
ALTURA HASTA EL QUEMADOR	F	<b>16 1/2</b>
DIAMETRO INTERIOR CAMARA DE COMBUSTION	G	<b>31</b>
ALTURA CAMARA DE COMBUSTION	H	<b>31</b>
ALTURA NIVEL MINIMO DE AGUA	I	<b>76</b>
ALTURA SALIDA DE VAPOR	J	<b>83</b>
ALTURA ENTRADA DE AGUA	K	<b>43</b>
<b>DIAMETRO CONEXIÓN PARA (PULGADAS)</b>		
CONEXIÓN PARA ALIMENTACION	1	<b>1 1/4</b>
DIAMETRO DE SALIDA DE VAPOR	2	<b>1 1/4</b>
VALVULA DE SEGURIDAD	3	<b>1</b>
PURGA	4	<b>3/4</b>
INSPECCIÓN DE MANO	5	<b>3" x 4"</b>
DIAMETRO INTERIOR DE SALIDA DE HUMOS	6	<b>11 3/8</b>

**Fuente:** Adaptación Colmaquinas S.A. (<https://www.colmaquinas.com/calderas-piro-tubulares-horizonta/>)

- La presión máxima de trabajo de la caldera es de 150 psi, con un rango de operación normal entre 100 psi a 125 psi.
- Las tuberías que conforman todo el sistema son en acero al carbón y son capaces de soportar hasta 250 psi. Las tuberías externas son cambiadas durante el mantenimiento anual a excepción de las tuberías internas que no se han cambiado desde su instalación.
- En cuanto a la alimentación del agua a la caldera, la línea de retorno de condensados hacia el tanque de alimentación *T-101* puede alcanzar una temperatura máxima de 60 °C, y la bomba de agua *P-10* soporta la transferencia de flujos hasta 250 psi. Para que en operación normal la cantidad

máxima de agua que debe contener el hogar de la caldera sea de 1200 Litros ( $1,2 \text{ m}^3$ ), en un nivel arriba de la tubería interna del hogar y con un pH de entre 9 y 10,5.

- El suministro de energía eléctrica está distribuido por un sistema trifásico, con un voltaje de 220V por corriente monofásica.
- No se dispone de filtro en la fuente de ingreso de aire. La línea de gas natural antes del sistema de la caldera cuenta con 3 válvulas de seguridad, mientras que el ingreso directo a la caldera está regulado por la válvula electrohidráulica con un límite máximo de presión de 0,25 Kpa. Además, la línea de gas está equipada con sensores de presión con una escala de 0 a 125 Kpa.

## **5.2. Equipo convocado para realizar el estudio**

- Karen Juliana Guatava Jiménez, actuando como líder se encargó de planificar y organizar el estudio de PHA como también de facilitar las reuniones del equipo de PHA asegurándose de la participación activa de todos con la exploración adecuada y así ejecutando la toma de decisiones durante el proceso de PHA. Las funciones del líder también incluyen el seguimiento y supervisión de las acciones para el mejoramiento del proceso analizado con la implementación de medidas de mitigación de riesgos, terminando con un proceso de comunicación efectiva hacia las partes interesadas.
- Phd. Gustavo Emilio Ramírez Caballero, el ingeniero del proyecto gracias a su experiencia técnica y de seguridad ayudó a definir los objetivos del análisis y establecer un plan de acción. El ingeniero contribuyó con su experiencia para identificar peligros y riesgos asociados al sistema.
- Técnico Eduardo Carreño, actualmente funcionario a cargo del laboratorio de procesos de la Escuela de Ingeniería Química UIS, como representante de operaciones aportó valioso conocimiento sobre el funcionamiento diario del sistema, posibles riesgos, condiciones operativas adversas, además, él ofreció una perspectiva práctica y de campo sobre las implicaciones de

seguridad y operatividad, desempeña un papel crucial para la comprensión detallada del equipo y su operación, dentro de sus funciones al finalizar todo el proceso de PHA, puede ser participar en la implementación de las medidas correctivas acordadas.

- Magister Astrid Carolina Plata Valdivieso (Consultora en gestión del riesgo químico, gestión ambiental y seguridad y salud en el trabajo). Su participación como representante de ingeniería de riesgos o seguridad fue en cuanto a la evaluación conceptual de probabilidad y severidad de los riesgos identificados para priorizar y determinar medidas de mitigación, del mismo modo una vez finalizado el PHA puede desempeñar un papel importante en implementación de las recomendaciones acordadas.

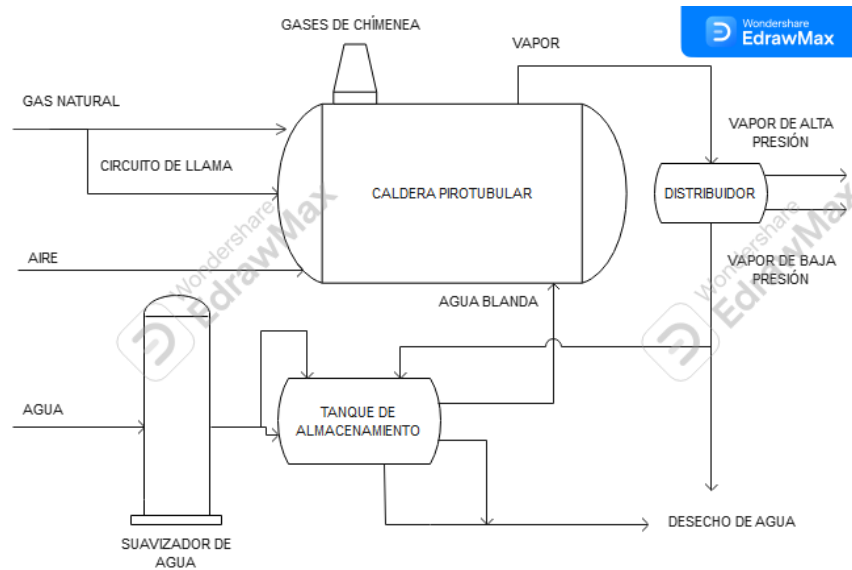
### **5.3. Información del Proceso**

En el **Apéndice B** se describe en detalle los equipos de importancia relevante que integran la caldera. Las entradas al hogar de la caldera son: agua blanda, combustible (gas natural), aire y energía eléctrica, mientras que las salidas del sistema incluyen gases de chimenea, vapor seco (producto principal), lodos disueltos y agua residual. El **Apéndice C** contiene la descripción de las sustancias involucradas en el proceso de producción de vapor mostrado en la **Figura 3**.

A partir de una serie de visitas al laboratorio, se elaboraron los diagramas P&ID del equipo con orientación de (Ana Yurley Chaves Suarez; Nicolás Toro Arias, 2022), que se presentan en las **Figura 4**, **Figura 5**, y **Figura 6**, con el fin de comprender y visualizar adecuadamente el sistema a analizar. En seguida de esto, a principios de noviembre de 2023, se llevó a cabo una visita al laboratorio de Ingeniería Química de la Universidad Industrial de Santander (UIS) donde se obtuvo una visión detallada de las instalaciones y el funcionamiento del equipo en estudio allí ubicado.

**Figura 3**

*Esquema de generación de Vapor Caldera Pirotubular-Laboratorio de Escuela de Ingeniería Química UIS.*



Durante la visita, se brindó la oportunidad de comprender el manejo de los tres estados que presenta la caldera y de explorar detalladamente el proceso para alcanzar cada uno de ellos. A continuación, se muestran los aspectos más importantes tratados durante el encuentro y su complementación:

### 5.3.1. Estados de la Caldera

**Proceso de Encendido:** Para el encendido de la caldera lo primero que se debe hacer es garantizar el flujo de combustible Gas a una presión adecuada, también es necesario garantizar el flujo de energía eléctrica y el flujo de Aire. Como segunda medida se debe realizar una inspección ocular del nivel de la caldera *B-101*, del nivel en el tanque alimentador *T-101*, verificar que se encuentren cerradas: la válvula de salida de vapor *V-25*, de ingreso de agua *V-12*, de ingreso de gas *V-30*, *V-31*, *V-32*, *V-35*, también las válvulas de purga *V-27*, *V-28* y *v-29*, y, los tacos del contador de energía eléctrica y las válvulas aireadoras o des aireadoras *V-16*, *V-17* y *V-21*.

A continuación, se inspecciona si la cámara de agua de caldera está por presión positiva o negativa, se abre la válvula *V-16*, si hay succión está por presión negativa y se debe abrir *V-23* y *V-17* para llegar a presión atmosférica. Después se realizan las purgas en frío en el controlador de nivel de agua *V-21*, en la cámara de agua *V-28* y *V-29*, en el tanque de alimentación *V-11* y se da apertura de la válvula *V-12*, el tiempo de duración de cada acción es de 10 segundos. Seguido de esto se da apertura a las válvulas de ingreso del gas *V-30* y *V-34*.

Para el ingreso de energía eléctrica al sistema se da posición de encendido en el totalizador principal, en el totalizador secundario, en el interruptor electrónico dispuesto para el sistema de la caldera y en el interruptor de maniobras al tablero de control *C-101*. En *C-101* en el interruptor de maniobra al selector de combustible se elige Gas, en el interruptor de maniobra al control de agua se selecciona automático. Luego de esta acción se reinicia manualmente el controlador principal FIREYE y el tablero de control *C-101* y por último mediante el interruptor de maniobra al control de quemador se elige la opción automática. Por último, se da apertura a las válvulas des aireadoras *V-16* y *V-17* en el rango de 25 a 50 psi y también se da apertura a la válvula principal de corte de vapor *V-25* al distribuidor *S-101*.

**Operación:** El funcionamiento de la caldera pirotubular en estudio inicia con el barrido al interior de la caldera con aire para eliminar residuos, a continuación, se permite el ingreso de agua al sistema de la caldera, se inicia con el tratamiento para reducir la dureza del agua (Colombia, 2021) proveniente del acueducto de Bucaramanga en el tanque suavizador *W-101*.

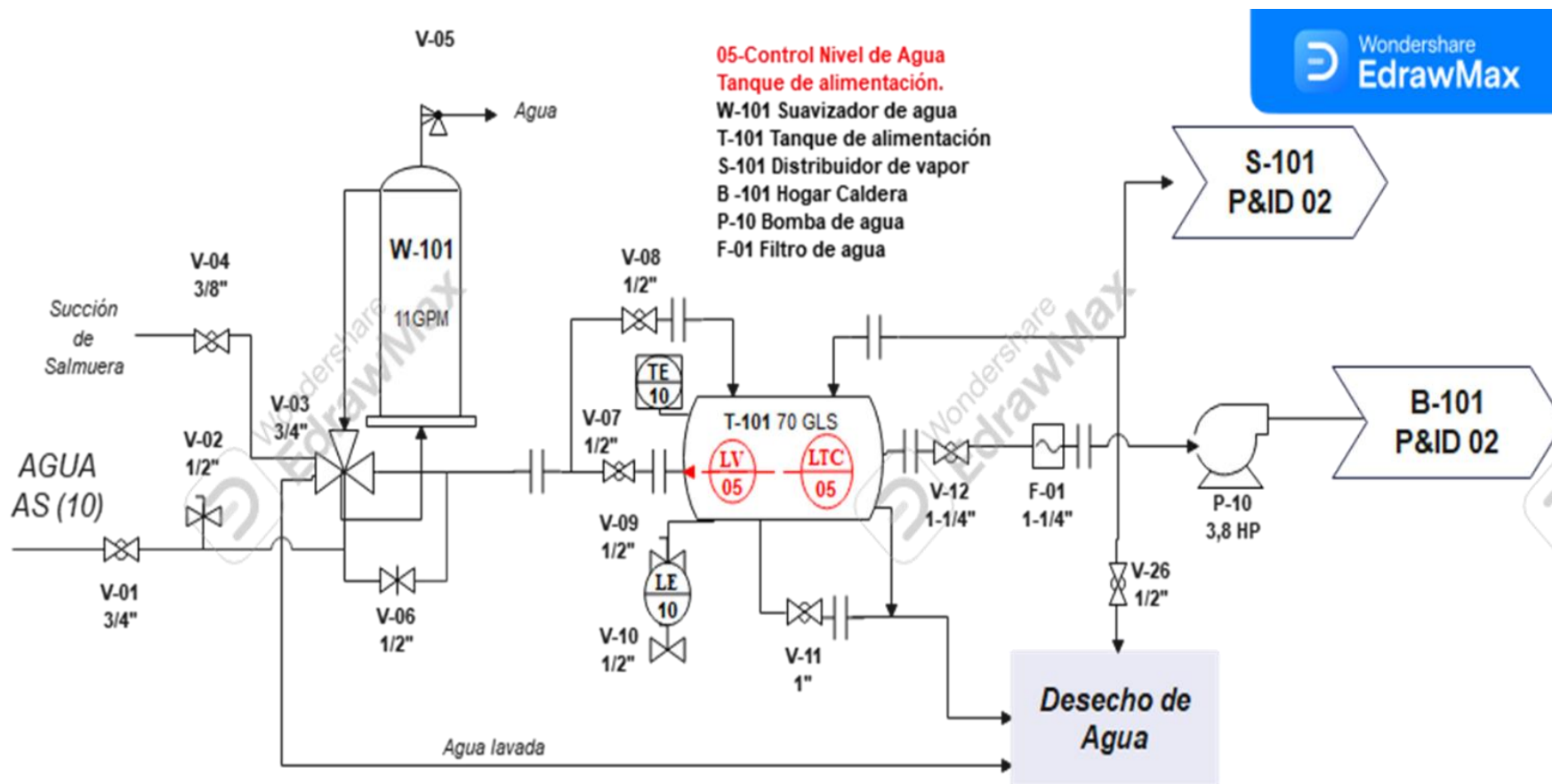
Según estadísticas a partir del análisis de aproximadamente 181 muestras fisicoquímicas y microbiológicas mensuales realizadas por el acueducto metropolitano de Bucaramanga AMB, permite establecer en 2023 las características dispuestas en la **Tabla 6** del **Apéndice C**.

La dureza máxima con la cual se permite el ingreso del agua a la caldera es en el rango de 0 a 5 ppm, a continuación se empieza el llenado de la caldera regulando el nivel por medio del *Control de Nivel de Agua 01*, para luego permitir la formación de la llama piloto con el ingreso de aire por la válvula *V-38*, el ingreso de gas por la válvula *V-37* y la formación del arco eléctrico con el electrodo *IV-03*, a continuación la fotocelda *BE-03* censa la llama y el controlador principal por medio de la válvula electrohidráulica *V-34* permite el ingreso de gas y por medio del servomotor permite el ingreso de aire para la combustión. El principio de funcionamiento se basa en la combustión producida en el interior de la caldera *B-101*, generando gases calientes que fluyen a través de los tubos de humo y transfieren su calor al agua circundante. Es importante resaltar que este proceso maneja un *Control de Presión 04* por un presostato de ampolla de mercurio, su funcionamiento es electromecánico, a través de un diafragma ubicado en la conexión interior, detecta la señal de presión y acciona un mecanismo, previamente regulado con un resorte cuya tensión corresponde al valor de presión que se desea controlar, este mecanismo va inclinando la ampolla de mercurio hasta que el mercurio deja de hacer el contacto eléctrico, desconectando el sistema. La reposición es automática cuando baja la presión. El vapor resultante es recolectado y se emplea como fuente de energía de los diversos equipos en el laboratorio de la escuela de ingeniería química de la Universidad Industrial de Santander.

**Proceso de Apagado:** Para el apagado del equipo de generación de vapor primero se selecciona la opción OFF en el interruptor de maniobra al control de quemador presente en *C-101*, al igual que en el interruptor de maniobra al control de agua, en el interruptor de maniobra al selector de combustible, y, en el interruptor de maniobras al tablero de control como en el interruptor electrónico dispuestos en *C-101*.

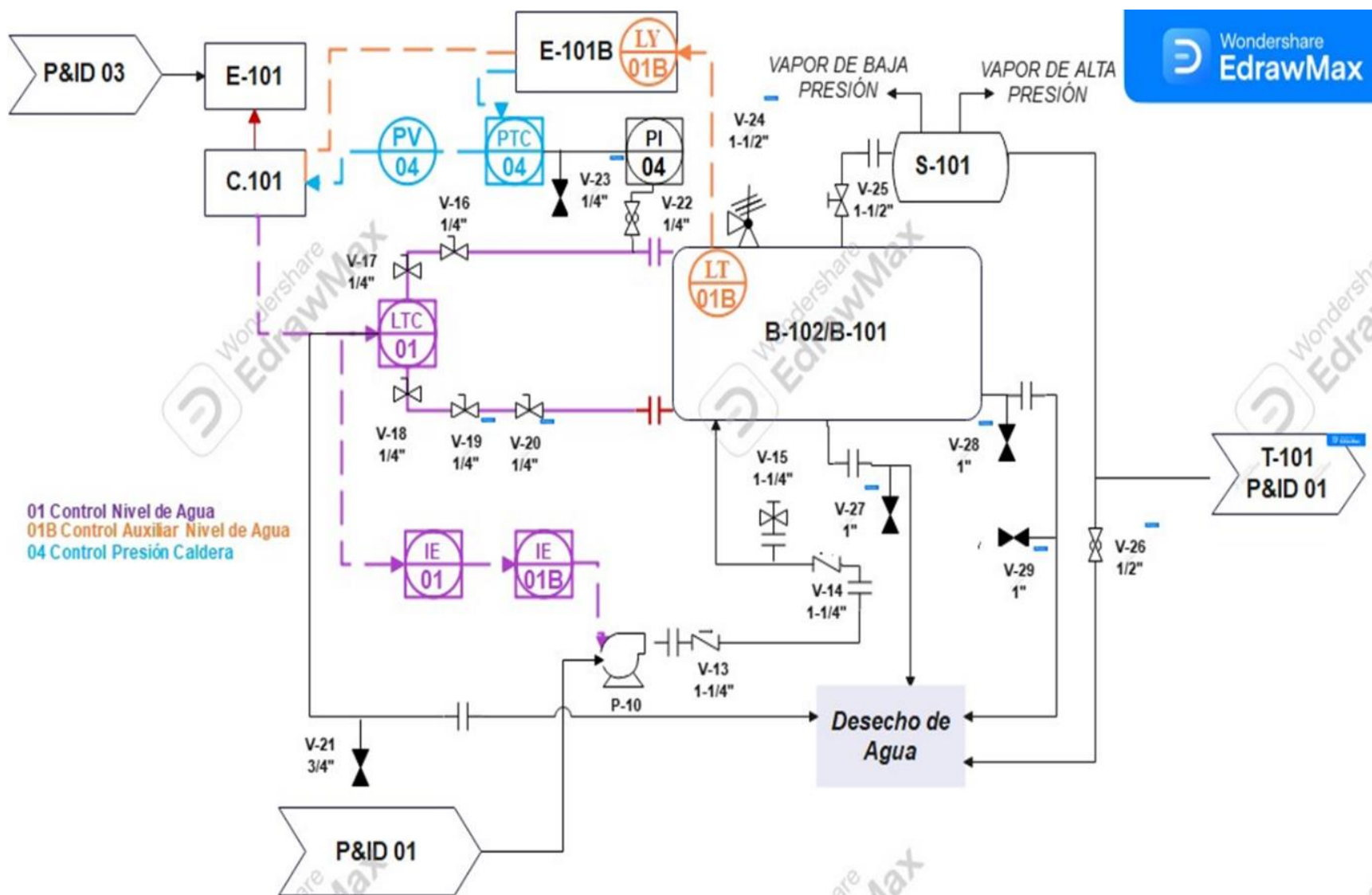
**Figura 4**

Diagrama P&ID 1 Sistema de Tratamiento Agua de Alimentación Caldera-Laboratorio de la Escuela de Ingeniería Química UIS.



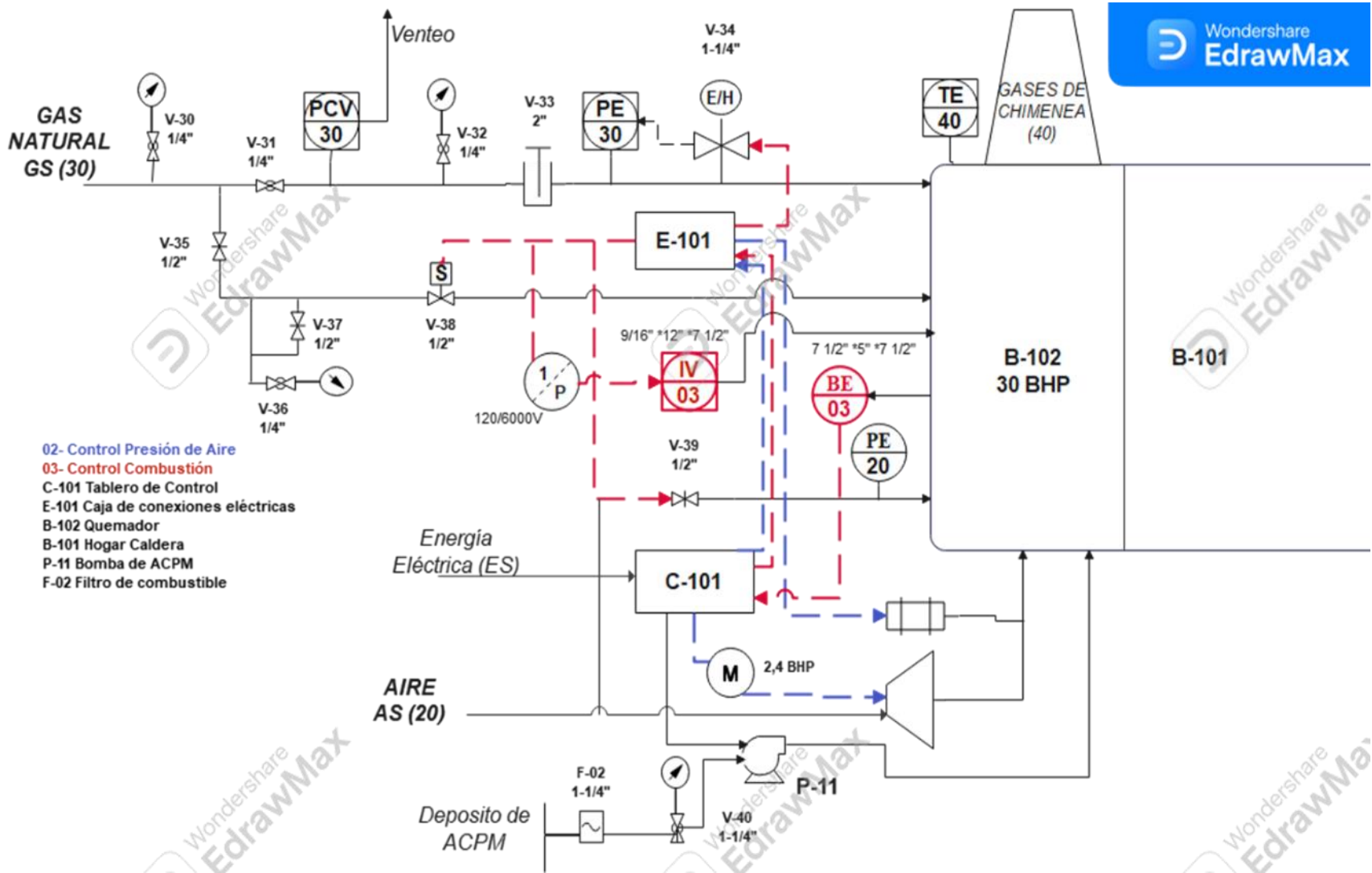
**Figura 5**

Diagrama P&ID 2. Sistema de Control de Agua y de Presión Caldera-Laboratorio de la Escuela de Ingeniería Química UIS.



**Figura 6**

Diagrama P&ID 3. Sistema de Control de Combustión y Presión del Aire Caldera-Laboratorio de la Escuela de Ingeniería Química UIS.



Paso a seguir es el cierre de válvulas de corte de gas (principal V-30 y llama piloto V-34), después se hace el cierre de la válvula principal de corte de vapor V-25 al distribuidor S-101 y a la válvula de corte de agua V-12. Como parte final del proceso de apagado se hacen las purgas en caliente por medio de la válvula V-21 del *Control de nivel de agua 01*, también por medio de las válvulas V-28 y V-29 de la cámara de vapor por una duración de 10 segundos en cada acción.

#### **5.4. Identificación de Peligros**

Como primera medida para el análisis se subdividió según la infraestructura del equipo y analizando cada Diagrama P&ID (Ver **Figura 4**, **Figura 5**, y **Figura 6**). Se hizo el análisis de acuerdo con cada sistema de control del sistema de la caldera pirotubular descritos a continuación:

##### **5.4.1. Sistemas de Control**

La caldera cuenta con cinco sistemas de control para garantizar su funcionamiento adecuado y preciso (Ing. Manuel Palacios Vidal Capítulo de Ingeniería Mecánica y Mecánica Eléctrica. Consejo Departamental de Lima-CIP, 2020). Estos son:

**Control de Nivel de Agua 01:** El nivel del agua es una **variable crítica** para el funcionamiento y la eficiencia de la Caldera. El control de nivel McDonell & Miller consta de 4 partes: *el nivel de parada de la bomba*, donde la máxima distancia que puede mostrar el indicador de nivel debe ser de 19 ml; *el nivel de arranque de la bomba de agua*, que se activa cuando hay insuficiente nivel de agua; *el nivel normal de agua*; y, *el nivel del corte del quemador*, que apaga el quemador para evitar daños cuando el nivel de agua es mínimo. Como medida de seguridad adicional, en la parte superior de la caldera se encuentra un

*Control Auxiliar de nivel 04*, empleando el principio de medición por conductividad, está compuesto por un electrodo y un relé, que hace contacto con la bomba de agua *P-10*.

**Nota:** Si hay un daño en el control de nivel es necesario sacar de funcionamiento el equipo, y el indicador de nivel no tiene graduación numérica.

**Control de Presión del Aire 02:** La relación entre la presión y el flujo de aire en una caldera es directamente proporcional, de esta manera el control de presión se realiza ajustando el ventilador y el servomotor para mantener la presión y el flujo de aire dentro de rangos óptimos para una operación segura y eficiente de la caldera.

**Nota:** Es importante antes de dar inicio al funcionamiento de la caldera, hacer un barrido con aire para eliminar residuos de gases.

**Control de Combustión (Aire-Combustible) 03:** El control de combustión se realiza por control de límites cruzados, donde se mantiene un ajuste proporcional inverso entre la cantidad de aire y la cantidad de combustible que deben mezclarse para asegurar una combustión continua y una llama estable. El control permite optimizar el consumo de gas, reducir el riesgo de explosión, adaptarse rápidamente a variaciones de suministro y mejorar la satisfacción de la demanda de vapor.

**Control Presión del Gas 04:** Este control se hace a través de un presostato de ampolla de mercurio, el funcionamiento del presostato es electromecánico, detecta la señal de presión y acciona un mecanismo previamente regulado, cuando la presión está por debajo del límite inferior el presostato actúa cerrando el circuito para activar la bomba hidráulica y así subir la presión. La reposición es automática cuando baja la presión. Del mismo modo en caso de un

exceso de presión, la válvula de seguridad acciona de acuerdo con la regulación de la válvula, según ASME, cuando esté 6% sobre la presión del trabajo del equipo.

**Control de Nivel Tanque de Condensados 05:** El control de nivel del tanque de condensados *T-101* utiliza un flotador que opera con contrapeso, activando contactos internos para regular el suministro de agua o evitar el ingreso de esta según sea necesario.

#### **5.4.2. Mantenimiento, ¿Cómo se hace y cada cuánto?**

El Mantenimiento es posible dividirlo como preventivo y correctivo. El Mantenimiento Preventivo es desarrollado por adelantado a intervalos definidos para prevenir que ocurra la falla, es un método que puede ser muy efectivo, pero con un precio elevado y el Mantenimiento Correctivo se realiza cuando los componentes del equipo entregan su máxima vida útil. (Muñoz, 2017)

A cargo de los funcionarios del laboratorio cada mes se hace un análisis de calidad de agua en el suavizador *W-101*, y se realiza el cambio de la resina de ser necesario. Al equipo de la caldera se le hace mantenimiento una vez por año a cargo de ARC ALFONSO RAMÍREZ INGENIERÍA S.A.S., según el registro del último mantenimiento realizado en Enero de 2023, se realiza limpieza general en el área de los tubos de humos, en la cámara de combustión se hace mantenimiento en el circuito de ignición, en el quemador de la caldera, en el tablero de control, a las válvulas de solenoides, al cheque (Válvula antirretorno) de la línea de alimentación de agua, también, se realiza cambio de empaquetaduras, mirillas, tuercas y tornillos, prueba de la válvula de seguridad, lavado del tanque de condensado y cambio e instalación de manómetros (*Para mayor comprensión ver Apéndice B*). Dentro de este procedimiento para costos y reporte, está incluido el transporte de materiales, equipos y personal.

A la estructura original de la caldera solo le he hecho el cambio de la bomba de alimentación a partir del tanque de condensados en el 2016, y su registro se encuentra en los archivos de mantenimiento realizados. Nunca se ha cambiado las tuberías al interior de la Caldera. Los peligros identificados principalmente fueron, Inflamabilidad, Presión, Temperatura, y Composición, además que se evidenció gran cantidad de corrosión en toda la estructura del equipo.

### **5.5. Peor caso posible**

Los peores casos de accidentes con relación a equipos generadores de vapor o calderas han sido las explosiones. Los accidentes se dan por diferentes causas como el diseño o la fabricación deficiente, la operación o mantenimiento deficiente, la falta de supervisión, no informar acerca de las fallas, problemas con accesorios de seguridad, incrustaciones, corrosión, hacer caso omiso de la legislación vigente, entre otras, aunque probablemente los más peligrosos accidentes se dan por bajo nivel de agua (Noriega, 2022). Una explosión puede causar daños catastróficos a nivel personal, estructural, social y medioambiental, entre las causas más resaltantes de este hecho se encuentra la acumulación de presión, altas temperaturas, bajo nivel de agua, la corrosión y/o erosión. El mal funcionamiento de los sistemas de seguridad, la falta de inspección y mantenimiento adecuado. (CCPS (Centro para la Seguridad de Procesos Químicos), , 2016)

Para prevenir las explosiones, es recomendable siempre seguir las instrucciones del fabricante para el funcionamiento y el mantenimiento, realizar inspecciones regularmente, mantener el área de trabajo despejada y limpia e iniciar el funcionamiento del equipo con un barrido de gases, ejecutar el tratamiento adecuado del agua, capacitación constante del

personal a cargo y tener en cuenta las normas y reglas de recipientes a presión, así como las medidas preventivas para la fabricación y el funcionamiento.

### **5.6. Elección de técnicas PHA**

Existen múltiples técnicas de identificación de riesgos y peligros en procesos industriales y sistemas de producción, cada una con ciertas particularidades que hacen que su aplicación permita obtener los mejores resultados. En este estudio se aplicó:

La técnica de Lista de Chequeo (Checklist), la cual permite analizar diversas etapas, como el diseño, la construcción, el arranque, la operación, la parada o la modificación de cualquier proceso, con el propósito de detectar fallos técnicos, fallos operativos y fallos humanos. A pesar de su complejidad baja o media, y su relativo bajo tiempo y costo de inversión, proporciona resultados cualitativos significativos. Al aplicar esta técnica al equipo de la caldera, se elaboró una lista exhaustiva de ítems que abarca diversos aspectos del sistema. En general, este enfoque permitió identificar los riesgos conocidos y abordar aspectos críticos durante el análisis, como se evidencia en la **Tabla 3**.

La técnica ¿Qué pasa sí? (What-If?) tiene como propósito detectar el mismo tipo de fallos mencionados anteriormente con el grado de consecuencias generadas, mostrando de igual forma resultados cualitativos como herramientas para reducir riesgos, su nivel de complejidad, tiempo y costos es similar a la técnica de Lista de Chequeo. En el proyecto actual esta técnica permitió plantear escenarios hipotéticos y explorar las posibles consecuencias como resultado, como se puede ver en la **Tabla 4**. La combinación de ambas técnicas proporcionó una evaluación exhaustiva de los riesgos asociados al equipo de la Caldera.

**Tabla 3**

Lista de Verificación Caldera Piro-tubular-Escuela de Ingeniería Química UIS.

**LISTA DE VERIFICACIÓN DE CALDERA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

<b>Fecha:</b> 2023-II	<b>Facultad:</b>	Ingenierías Físicoquímicas
Laboratorio de Escuela de Ingeniería <b>Equipo</b>		
<b>Área:</b>	química	: Caldera
<b>PUNTO DE VERIFICACIÓN</b>	<b>ESTADO SI NON/A</b>	<b>OBSERVACIONES/ ACCIONES CORRECTIVAS</b>
El equipo de la caldera cuenta con información de planos eléctricos, diagramas P&ID y especificaciones de equipos		La única información que se encuentra acerca del equipo no es específica, está incompleta y en idioma inglés. Cabe resaltar que no incluye planos eléctricos ni diagramas P&ID.
Está a la vista el registro de mantenimientos, revisiones y pruebas, fallas, muestreo de gases, etc.		Estos archivos solo están disponibles para personas autorizadas por el director de la Escuela de Ingeniería Química de la UIS.
La zona de ubicación de la caldera tiene adecuada iluminación y ventilación		La zona de ubicación cuenta con buena fuente de iluminación natural como también tiene iluminación artificial adecuada y amplios espacios abiertos.
Los materiales de construcción del sistema de la caldera son incombustibles		Las calderas Colmaquinas están construidas de acuerdo con el código ASME, los materiales utilizados para las partes de presión son de calidad certificada SA-516, la tubería es de acero al carbono calidad SA-178 GR. El aislamiento es fibra de vidrio 2" de espesor y protegido por una cubierta en lámina calibre 22.
Tuberías están distribuidas adecuadamente y en buen estado		Las tuberías están distribuidas adecuadamente y se cambian todas las tuberías externas cada semestre.
Hay un detector de gas instalado y en funcionamiento		Cuando el nivel de gas excede el umbral preestablecido, la forma de detectarlo es visualmente y por su olor.
Salida de humos en óptimas condiciones		La salida de humos tiene buena ventilación, adecuada ubicación y protección contra incendios. Hay pequeñas salidas de agua por el ducto de la chimenea.
El suministro de luz, agua y gas se pueden suspender fácilmente		Si, los interruptores para suspender el servicio son completamente accesibles.

Continuación **Tabla 3...**

PUNTO DE VERIFICACIÓN	ESTADO			OBSERVACIONES/ ACCIONES CORRECTIVAS
	SI	NO	N/A	
El estado de la cubierta metálica de la caldera es bueno, y no se presenta evidencias de oxidación por infiltraciones de agua ni bordes metálicos cortantes				La cubierta metálica de la estructura de la caldera muestra signos de corrosión, y en diversas áreas se observan pequeñas filtraciones de agua que mantienen el piso constantemente húmedo.
El sistema de alimentación de combustible ACPM está sellado y aislado				El sistema de alimentación de ACPM ha estado sellado y fuera de uso durante más de 20 años y no hay registro de ello. Sin embargo, anualmente durante el mantenimiento del equipo, también se inspecciona y documenta.
El agua de alimentación tiene tratamiento químico para reducir durezas, impurezas y controlar el pH				El agua de alimentación posee una composición específica ( <i>Ver Tabla 3</i> ), lo que requiere que se lleve a cabo un proceso para reducir impurezas.
La red de suministro de vapor se encuentra aislada y no presenta riesgo para el operador				La red se encuentra aislada, se requiere el uso de implementos de seguridad por las elevadas temperaturas y un manejo adecuado.
Hay válvula de seguridad conectada a la cámara de vapor en buen estado				En la parte superior de la Caldera se encuentra una válvula de alivio programada para su activación en caso de alteraciones.
Se realiza un mantenimiento regular llevando a cabo las recomendaciones necesarias				Anualmente, se autoriza el mantenimiento una vez que recibe la cotización de la empresa ARC ALFONSO RAMIREZ INGENIERIA S.A.S. y revisa la información del proceso de mantenimiento anterior, así como la implementación de las recomendaciones sugeridas.
Se reemplazan los filtros de manera regular				Regularmente los filtros se reemplazan durante el mantenimiento cada año.
Instalación cuenta con equipo de extinción de incendios				Dentro del laboratorio se encuentra un equipo de extinción de incendios pero no se encuentra inmediatamente cerca al acceso de la comunidad.
La caldera cuenta con un sistema de purgas para extracción de agua, lodos y purga de fondo. Las llaves se encuentran operativas y no constituyen un riesgo para el operador.				El sistema cuenta con cuatro purgas de apertura manual para la extracción de agua, lodos y purga de fondo, lo cual también abarca la purga del tanque de alimentación T-101. Las llaves o válvulas para la apertura se reemplazan en cada mantenimiento realizado.
El suavizador y el tanque de almacenamiento de agua de alimentación se encuentran en buen estado (no presentan oxidación ni corrosión ni fugas)				El suavizador <i>W-101</i> y el tanque <i>T-101</i> presentan altos niveles de corrosión y no presentan fugas.

Continuación **Tabla 3...**

PUNTO DE VERIFICACIÓN	ESTADO SI NO N/A	OBSERVACIONES/ ACCIONES CORRECTIVAS
Existen indicadores de nivel de agua operativos		Los indicadores de nivel presentes tanto del tanque <i>T-101</i> como del hogar <i>B-101</i> , son dispositivos visuales que no cuentan con una escala una escala exacta. Permanecen operativos gracias al mantenimiento y no requieren servicios adicionales para la detección.
¿Existen sistemas de alivio de presión implementados y en funcionamiento?		Si, el sistema de la Caldera cuenta con una válvula de seguridad V-24 para alivio de condiciones de sobrepresión.
Existe un manómetro conectado directamente a la cámara de vapor		Existe un manómetro conectado directamente a la salida de vapores de combustión, el cual presenta dificultades para su lectura
El vapor evacuado por la válvula de seguridad es conducido fuera del recinto		La válvula de alivio o seguridad tiene tubería para evacuación del vapor, el vapor es expulsado al ambiente
La caldera tiene un sistema automático de detección que elimina el riesgo de explosión		La caldera tiene un sistema de alarma cuando se presentan condiciones críticas, remite al bloqueo y posteriormente a el apagado del equipo.
Existe alarma acústica y/o visual que funciona cuando el nivel de agua alcanza el mínimo		Existe alarma acústica.
Existe amplitud suficiente para operar de forma segura la caldera.		El espacio de ubicación no es muy amplio, sin embargo, permite la ejecución de operaciones con aceptables condiciones de seguridad.
Los operadores cuentan con elementos de protección personal: calzado de seguridad, guantes, protección auditiva, gafas, entre otros		La dotación asignada como el vestuario de trabajo incluye los elementos de protección necesarios, tales como botas, guantes, tapones para los oídos, gafas protectoras, entre otros.
Personal que opera la caldera acredita Certificado de Competencia		El personal a cargo del laboratorio cuenta con título académico y fueron elegidos en la universidad mediante postulación a convocatoria.
El personal operativo tiene que realizar movimientos repetitivos para el funcionamiento de la Caldera		Para la puesta en marcha y supervisión del equipo de la caldera, los funcionarios no deben mantener posturas ni movimientos repetitivos.
El personal que tiene acceso al laboratorio está expuesto a superficies deslizantes, con diferencia de nivel o sin condiciones de orden y aseo.		Las personas que están o permanecen en el laboratorio pueden estar expuestas a líquidos en superficies a causas de derrames o la humedad.

Continuación **Tabla 3...**

PUNTO DE VERIFICACIÓN	ESTADO SI NO N/A	OBSERVACIONES/ ACCIONES CORRECTIVAS
El conocimiento acerca del manejo de seguridad respecto a la caldera es conocido por varias personas		Acerca de la seguridad en la Caldera dispuesta en la escuela de Ingeniería química de la UIS, solo es conocida especialmente por los dos técnicos a cargo actualmente.
El personal que tiene acceso al equipo de la caldera está expuesto a ruidos fuertes, vibraciones, gases tóxicos, superficies calientes o vapor.		El funcionamiento de la caldera conlleva ruidos fuertes, vibraciones y la emisión de vapor caliente, por lo que no se recomienda permanecer ni acercarse al equipo, excepto para los técnicos a cargo del mantenimiento y la operación del mismo.
¿Se han elaborado análisis de riesgo del proceso de producción de vapor?		El único procedimiento que se ha hecho al equipo fuera de funcionamiento es el mantenimiento regular.
Hay registros de información acerca de incidentes y accidentes, esquemas para la clasificación de áreas o información sobre el entorno de instalación.		La información archivada de la caldera solo son los registros de mantenimiento y el manual técnico del fabricante, que en realidad no especifica el equipo dispuesto en el laboratorio.

### 5.7. Priorización de problemas encontrados

A nivel estructural, existen problemas significativos en la caldera, pero uno de los principales desafíos radican en la falta de acceso a información específica y disponible sobre el equipo. Esto conlleva a que el proceso de funcionamiento y las medidas de seguridad sean conocidos únicamente por los dos técnicos a cargo del laboratorio actualmente y el ingeniero encargado del mantenimiento. Además, no se tiene una comprensión precisa de la vida útil del equipo, ya que fue instalado en 1994 y su funcionamiento ha sido a baja carga.

Tras el análisis realizado, se ha observado que la información sobre la vida útil de la caldera y los informes de incidentes y cambios efectuados sobre el equipo son inconclusos. Esta carencia dificulta la identificación de métodos de mitigación y soluciones exactas para problemas significativos como la corrosión (Vargas, 2021), pérdida del espesor, reducción eficiencia y altos índices de contaminación ambiental, entre otros.

**Tabla 4**

*¿Qué pasa si... Caldera Piro-tubular-Escuela de Ingeniería Química UIS?*

**¿QUÉ PASA SÍ...CALDERA UIS?**



Fecha:		2023-II	Facultad:		Ingenierías Físicoquímicas	
Área:			Laboratorio de Escuela de Ingeniería química	Equipo:		Caldera
¿Qué pasa si?	Causas	Consecuencias		Posibles Soluciones		
¿Qué pasa si disminuye el nivel del agua en el Hogar (B-101)?	Condiciones de Operación Incorrectas	Sobrecalentamiento de las tuberías y Fallas en el arranque		Identificar y reparar fugas, Ajustar o reemplazar válvulas de control, Optimizar las condiciones de operación		
	Falla en el sistema de control de nivel	Reducción de eficiencia de transferencia de calor		Control Auxiliar del nivel de agua.		
	Falla en el suministro de agua	Baja presión		Limpieza y Mantenimiento		
¿Qué pasa si aumenta el nivel del agua en el Hogar (B-101)?	Falla en el sistema de control de nivel del tanque de alimentación	Interrupción del Proceso		Capacitación del personal a cargo		
	Obstrucciones o Sedimentación			Inspección y Mantenimiento Preventivo		
	Falla en la bomba de alimentación			Alarma de presión y Bloqueo de seguridad		
¿Qué pasa si aumenta el nivel del agua en el Hogar (B-101)?	Falla en el sistema de control de nivel	Cavitación		Control Auxiliar del nivel de agua y uso eficiente del suavizador del agua.		
	Problemas con la válvula de retención	Riesgo de desbordamiento		Inspección y mantenimiento al control de nivel		
	Obstrucciones en los tubos de salida	Sobrecalentamiento y Daño al equipo		Revisar Válvula de Retención y Mantenimiento Preventivo		
	Falla en el suministro de agua	Arrastre químico (Contaminación del vapor, Incrustaciones y corrosión, Reducción de eficiencia, Daño al equipo)		Drenar exceso de agua, hacer limpieza de partes y conductos		
¿Qué pasa si aumenta el flujo de aire en la entrada?	Falla en el sistema de control de nivel del tanque de alimentación			Capacitación del personal a cargo		
	Falla en la bomba de alimentación			Controlar la calidad del agua de alimentación junto a supervisión regular y realización de pruebas químicas.		
	Falla en el sistema de control de presión de aire	Combustión Incompleta y pérdida de eficiencia		Ajuste de la Válvulas de aire		
¿Qué pasa si aumenta el flujo de aire en la entrada?	Falla en el sistema de control de combustión	Enfriamiento de la llama que permite la formación de condensado y corrosión		Reparación o reemplazo de componentes defectuosos. Mantenimiento preventivo		
	Problemas con el ventilador de ingreso de aire	Aumento de la demanda de combustible		Barrido de todos los gases y Revisión de sistemas de Control		
	Ajuste incorrecto de las válvulas de aire	Pérdidas de presión y de calor en el sistema		Capacitación del personal a cargo		
				Ajuste de la relación Aire-Combustible		

Continuación **Tabla 4....**

¿Qué pasa si?	Causas	Consecuencias	Posibles Soluciones
¿Qué pasa si disminuye el flujo de aire en la entrada?	Falla en el sistema de control de presión de aire	Combustión incompleta, insuficiente e insegura	Mantener un suministro de aire adecuado
	Problemas con el ventilador	Sobrecalentamiento de Componentes	Limpieza de conductos de aire
	Obstrucciones en los conductos de aire	Aumento de emisiones contaminantes	Ajustar o reemplazar controles de aire
	Falla en el ventilador de ingreso de aire	Formación de hollín, sobrecalentamiento, reducción de la eficiencia térmica y riesgo de explosión	Capacitación del personal a cargo Monitorización constante de los parámetros operativos. Mantenimiento preventivo
¿Qué pasa si disminuye el Flujo o hay Flujo Nulo de Combustible?	Falla en el suministro de gas natural	Apagado automático de la caldera, Fallas en el arranque y encendido	Apagar la caldera. Verificación del suministro de gas, el regulador de presión e inspeccionar como limpiar las líneas de gas
	Falla en el sistema de control de presión del gas	Fallas en el rendimiento y seguridad del sistema. (Combustión incompleta). Paro en la producción de Vapor.	Sistema auxiliar de suministro de combustible ACPM Monitoreo continuo y Mantenimiento preventivo Capacitación del personal a cargo
	Falla en el sistema de control de combustión	Pérdida de presión en el sistema	Ajuste de la relación Aire-Combustible
	Problemas en el sistema de encendido	Daño estructural a la caldera Riesgo de Explosión a causa del restablecimiento súbito de gas	
¿Qué pasa si aumenta el Flujo de Combustible?	Falla en el suministro de gas natural	Combustión Ineficiente	Inspección y Mantenimiento De dispositivos de seguridad Monitoreo continuo y Mantenimiento preventivo
	Falla en los Dispositivos de seguridad	Generación Excesiva de Calor	Ajuste de las Válvulas de Control
	Inyectores obstruidos o mal ajustados	Aumento de Emisiones de Gases de Combustión	Revisión y ajuste de inyectores
	Falla en el sistema de control de presión del gas	Desperdicio de Recursos	Capacitación del personal a cargo
	Falla en el sistema de control de combustión	Sobrecalentamiento y corrosión	
¿Qué pasa si aumenta la Presión en la Caldera?	Problemas en la válvula de alivio de presión	Riesgo de Explosión	Verificación y Ajuste de válvula de alivio de presión
	Falla en el control de nivel de agua	Disparo de la válvula de seguridad y apagado de emergencia	Ajuste o Reemplazo del Regulador de presión
	Ajuste incorrecto del regulador de presión	Daño a componentes	Inspección y mantenimiento a controles de nivel de agua Revisión y Mantenimiento de Válvulas de Control de Combustible
	Problemas con la Bomba de agua	Reducción de la eficiencia	
	Mal funcionamiento de la válvula de control de combustible (combustión excesiva)	Desgaste Prematuro	Implementación de sistemas de alarma y monitoreo Capacitación del personal a cargo

Continuación **Tabla 4....**

¿Qué pasa si?	Causas	Consecuencias	Posibles Soluciones
	Falta de agua y/o Fugas de agua	Reducción de la eficiencia	Identificación y reparación de fugas
	Problemas con la bomba de circulación de agua	Sobrecalentamiento	Ajuste o Reemplazo de válvulas de control
	Problemas con las válvulas de control de agua	Daño a componentes	Inspección y Mantenimiento Preventivo
¿Qué pasa si disminuye la Presión en la Caldera?		Contaminación auditiva	Monitoreo continuo y Mantenimiento preventivo
		Apagado automático	Verificación del Nivel de Agua Capacitación del personal a cargo
			Equipamiento de Protección Personal y cumplimiento de Normativa
	Falla en el sistema de control de nivel del tanque de alimentación	Reducción de la eficiencia de la caldera	Identificación y reparación de fugas
¿Qué pasa si disminuye el nivel del agua del tanque de alimentación (T-101)?	Suministro Insuficiente de agua.	Sobrecalentamiento y Daño a Componentes	Inspección, ajuste y mantenimiento del sistema
	Fugas en el Sistema de agua	Riesgo de Explosión Apagado de Emergencia	Monitoreo continuo y Mantenimiento preventivo Capacitación del personal a cargo Verificación del Suministro de agua
	Mal funcionamiento de la válvula de control de agua	Sobrecarga de la caldera	Ajuste o Reemplazo de válvulas de control
¿Qué pasa si aumenta el nivel del agua del tanque de alimentación (T-101)?	Falla en el sistema de control de nivel del tanque de alimentación	Daño a componentes	Reparación o reemplazo de sistemas de control de nivel
	Falta de un sistema de drenaje efectivo	Reducción de la eficiencia	Instalación de dispositivos de drenaje
	Suministro continuo de agua	Apagado automático de la caldera	Capacitación del personal a cargo Monitoreo continuo y Mantenimiento preventivo
¿Qué pasa si hay una fuga en el sistema de combustible?	Desgaste o daño en las tuberías del sistema de combustible.	Riesgo de incendio y explosión.	Inspección regular y mantenimiento preventivo del sistema de combustible.
	Falla en las juntas o conexiones de las tuberías.	Daños a la infraestructura local y en el área cercana.	Instalación de sistemas de detección de fugas y alarmas.
	Vibraciones excesivas que puedan aflojar las conexiones.	Pérdida de combustible, costos adicionales.	Capacitación adecuada para el personal.
	Corrosión en las tuberías.	Interrupción en la operación de la caldera, afectaciones en la producción y pérdidas económicas.	Reemplazo de partes desgastadas o dañadas del sistema de combustible.
	Fallas en el mantenimiento o Instalación incorrecta de las tuberías.	Riesgo para la salud y seguridad de los trabajadores.	Implementación de medidas de control de vibraciones.
	Falla en las válvulas de cierre del sistema.		Mantenimiento adecuado de las válvulas de cierre y otros componentes del sistema.
	Sobrepresión en el sistema de combustible.		Adecuada limpieza, tratar y prevenir la corrosión.

Continuación **Tabla 4....**

¿Qué pasa si?	Causas	Consecuencias	Posibles Soluciones
¿Qué pasa si se obstruyen los conductos de salida de gases de combustión?	Acumulación de residuos de combustión.	Retención de gases de combustión en el sistema.	Inspección regular y mantenimiento preventivo del conducto de salida de gases de combustión.
	Obstrucciones físicas.	Riesgo de retroceso de gases, fugas de CO u otros gases tóxicos.	Limpieza periódica del conducto y chimenea por parte de personal capacitado y certificado.
	Mal funcionamiento de sistemas de ventilación o conductos de humos.	Sobrecalentamiento estructural de la caldera	Instalación de dispositivos de protección, para prevenir la entrada de objetos extraños en el conducto.
		Reducción de la eficiencia y mayor consumo de combustible.	Instalación de detectores de CO y otros sistemas de alarma para detectar y advertir sobre la acumulación de gases peligrosos
		Interrupción del suministro de vapor.	Capacitación adecuada para el personal.
¿Qué pasa si se produce una falla en el sistema de purga?	Bloqueo o obstrucción en las válvulas de purga.	Acumulación de sedimentos y minerales en la caldera.	Realizar mantenimiento preventivo periódico en el sistema de purga.
	Falla en los dispositivos de control de nivel de agua.	Aumento de la concentración de sales y minerales en el agua de la caldera.	Verificar y limpiar regularmente las válvulas de purga.
	Problemas eléctricos o mecánicos en los sistemas de automatización.	Riesgo de corrosión en los tubos y componentes de la caldera.	Calibrar y mantener en buen estado los dispositivos de control de nivel de agua.
		Reducción de la eficiencia del sistema de vapor.	Capacitar al personal para detectar y resolver problemas de purga de manera oportuna.
	Riesgo de daño a los equipos y pérdida de producción.		
¿Qué pasa si se produce una fuga en el sistema de vapor?	Desgaste o corrosión en las tuberías de vapor.	Pérdida de vapor y aumento en los costos de energía.	Identificar y repara las fugas.
	Fallas en las juntas, conexiones o sellos.	Riesgos de salud para el personal a cargo y estudiantes.	Realizar inspecciones regulares y correcciones necesarias. Reemplazar tuberías dañadas o corroídas.
	Sobrepresión en el sistema de vapor.	Daños a la infraestructura local y al área cercana.	Mantener el sistema de vapor adecuadamente presurizado y controlado.
	Tuberías inadecuadas o mal instaladas.	Reducción de eficiencia del sistema.	Capacitación adecuada para el personal.
¿Qué pasa si hay una acumulación de sedimentos en el fondo de la caldera?	Impurezas y minerales presentes en el agua de alimentación	Reducción de la eficiencia para la generación de vapor	Mantenimiento e inspección regular del sistema de tratamiento de agua de alimentación.
	Operación inadecuada del sistema de purga.	Aumento del consumo de combustible.	Realizar purgas regulares.
	Falta de mantenimiento y limpieza regular de la caldera.	Corrosión, daños en tubería y componentes de la caldera.	Monitorear regularmente el nivel de sedimentos y la calidad del agua de alimentación.
		Riesgo de sobrecalentamiento y fallas operativas.	Realizar limpiezas periódicas.

Continuación **Tabla 4....**

¿Qué pasa si?	Causas	Consecuencias	Posibles Soluciones
¿Qué pasa si el Ventilador y el Quemador no arrancan?	Falla eléctrica	Interrupción en la operación	Verificación del suministro eléctrico
	Sensor de seguridad activado	Riesgos de seguridad por acumulación de gas no quemado	Reiniciar los sistemas de seguridad
	Fallo en el controlador Problemas mecánicos		Inspección y Mantenimiento Revisión del controlador
¿Qué pasa si el Ventilador y el Quemador arrancan, pero no hay llama?	Falta de Combustible	Interrupción en la producción de vapor	Verificación del suministro de combustible
	Electrodos de Ignición defectuosos		Limpieza y ajuste de los electrodos de ignición
	Falta de Oxígeno Falla en el Sistema de encendido	Acumulación de gas no quemado	Asegurar ventilación adecuada Inspección del sistema de encendido
¿Qué pasa si la Caldera se apaga en condiciones normales de operación?	Falla Eléctrica	Interrupción en la Producción	Verificación de alimentación eléctrica
	Sobrecalentamiento	Riesgo de daños a la Caldera	Revisión de los sistemas de seguridad
	Baja Presión del agua Falla en los controles de seguridad	Posibles riesgos para la seguridad.	Mantenimiento Preventivo Monitoreo Constante
¿Qué pasa si cae una "papa bomba" cerca o dentro de la localización de la Caldera?		Daños estructurales	Medidas de seguridad mejoradas
	Accidente o ataque deliberado	Lesiones personales	Inspecciones regulares y mantenimiento
		Interrupción de la operación	Colaboración con las autoridades locales.
		Impacto ambiental	
¿Qué pasa si la válvula de bloqueo o seguridad no está alineada y sellada para abrirse?	Desalineación mecánica	Riesgo de sobrepresión	Inspección y Mantenimiento regular
	Problemas de sellado	Interrupción del flujo de vapor o agua caliente en la caldera	Reemplazo de piezas en desgastadas, dañadas o corroídas
	Falta de mantenimiento adecuado	Daños a la válvula y otros componentes	Limpieza y lubricación de los componentes de la válvula Capacitación del personal a cargo
¿Qué pasa si el agua de alimentación a la caldera no recibe el tratamiento adecuado?	Falta de mantenimiento	Incrustaciones y depósitos Arrastre de sólidos y espuma	Implementación y/o reparación de un programa de tratamiento de agua
	Fallo en el sistema de tratamiento	Corrosión Aumento del consumo de energía	Mantenimiento regular Capacitación del personal a cargo
		Daños a los componentes	Actualización de equipos.

Es importante resaltar que, según lo dispuesto en el **Apéndice A**, la normativa ICONTEC NTC3649, la mayoría de las regulaciones hacen referencia a las instrucciones del fabricante, las cuales en este caso no están claras y representan un problema, además, no se encuentran instrucciones relacionadas con los procedimientos y frecuencia de limpieza para controles y dispositivos de seguridad. También según análisis del **Apéndice C**, por prevención a la contribución de la contaminación química ambiental e impactos negativos en la salud de los ecosistemas marinos por la acumulación de sedimentos en el drenaje y alcantarillado, el agua blanda se debe mantener alejada de los desagües. Por otra parte, es crucial mencionar que el Decreto 1347 de 2021 hace referencia al Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo, el cual es obligatorio establecer para todas las empresas de acuerdo con lo estipulado en la Ley 1562 de 2012 y el Decreto 1072 de 2015. En el laboratorio de Ingeniería Química de la UIS, no está establecido o no hay registro de él, lo que representa una situación que requiere atención urgente.

## **6. Conclusiones**

Las técnicas cualitativas de Análisis de Riesgo (PHA) que se realizaron al equipo de la Caldera Piro-tubular dispuesto en el laboratorio de la escuela de Ingeniería química de la UIS, son una parte integral de la Gestión del Riesgo, pero no abarca la Evaluación del Riesgo ni los métodos necesarios para la Reducción del Riesgo o la Gestión de la Seguridad. En síntesis, con base en el análisis realizado, hay una serie de medidas importantes por realizar en las instalaciones del laboratorio, como implementar el Sistema de Gestión de la Seguridad (SGS), recolectar y facilitar el acceso a información de los equipos dentro del mismo y brindar capacitaciones a estudiantes y funcionarios sobre el Análisis de riesgos PHA para ponerlo en práctica dentro de las instalaciones universitarias. Este tipo de análisis son de gran importancia para la seguridad de personas, infraestructura, medio ambiente y el ámbito legal.

## **7. Recomendaciones**

Toda la información referente del proceso de producción de vapor en la caldera pirotubular dispuesta en el laboratorio de la escuela de Ingeniería química de la UIS, debe ser recolectada, almacenada en el laboratorio y en administración, donde los estudiantes y profesores de la Universidad Industrial de Santander puedan tener acceso. Los problemas encontrados, subrayan la necesidad imperiosa de realizar un análisis exhaustivo de la vida útil del equipo, también la actualización de equipos e implantar proyectos o soluciones para la mejora del estado y la estructura con la adecuada señalización y recurrente capacitación del personal a cargo del laboratorio. Adicional a lo anteriormente mencionado es de vital importancia crear e implementar un plan de emergencia ante emergencias en el Laboratorio de la Escuela de Ingeniería Química UIS.

## Referencias Bibliográficas

- A. A. Sader y I. N. y Á. D. G. Delgado. (2021). Evaluación de la seguridad inherente de una alternativa de valorización de residuos de camarón bajo el concepto de biorrefinería. *Prospectiva*, 19(1).
- Adama Marcelo; Jairo Arly; Ipanaque Carrasco; Victor Wigeberto. (2019). Diseño de un sistema de alimentación de gas natural para cuatro calderas pirotubulares de 400Bhp. *Universidad Tecnológica del Perú*.
- Ana Yurley Chaves Suarez; Nicolás Toro Arias. (2022). Manual de Interpretación de Diagramas P&ID en la Industria de hidrocarburos. *Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas Universidad Industrial de Santander*.
- Assured, S. V. (2022). Seguridad de procesos. Lima, Perú. Obtenido de [https://www.youtube.com/watch?v=cJsRP05ui5s&ab\\_channel=Intertek](https://www.youtube.com/watch?v=cJsRP05ui5s&ab_channel=Intertek)
- C. W. Thomasset. (2011). *Pequeño Manual del Foguista*. Montevideo, Uruguay: 10a.
- Carmen H. Osorio-Amado; Delmar "Trey" Morrison y Sunil D. Lakhiani. (2021). Beyond Personal Safety: Occupational Health Safety (OHS) vs. Process Safety Management (PSM). *24th Annual Process Safety International Symposium. TEXAS A&M ENGINEERING EXPERIMENT STATION*.
- CCPS (Centro para la Seguridad de Procesos Químicos), . (2016). *Introduction to Process Safety for Undergraduates and Engineers*. New York, NY: AIChE.
- CEACA (Combustión Energía Ambiente). (2021). CALDERA. Guía del usuario. España.

COLMAQUINAS. (2018). Catálogo de Calderas Piro tubulares.

Colombia, A. O.-A. (2021). Conductividad y sólidos presentes en el agua de las calderas.

Obtenido de

[https://www.youtube.com/watch?v=8a\\_fzp6wjK4&ab\\_channel=AnodamineColombia](https://www.youtube.com/watch?v=8a_fzp6wjK4&ab_channel=AnodamineColombia)

ENERGÍAS INDUSTRIALES S.A. (2009). Procedimiento de Contingencia para Calderas.

*Slideshare*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/carolinaariasc2012/24a-procedimiento-decontingenciaparacalderasanexo3>

Engineers, T. A. (s.f.). *ASME Boiler and Pressure Vessel Code An International Code Section VI 2019*. New York, NY.

ESP, Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S. A. (Septiembre de 2023). *Laboratorio de*

*Calidad de Aguas*. Recuperado el 10 de Octubre de 2023, de

<https://www.amb.com.co/amb/conoce-amb/nuestros-procesos/laboratorio-de-calidad-de-aguas/>

Felipe Muñoz Giraldo; Rafael Amaya Gómez; Rosa Patricia Romero Bayona; Clara Inés

Arbeláez Naranjo. (2015). *Conceptos Generales de Seguridad de Procesos-ECOPETROL/Universidad de los Andes*.

Frank Crawley; Brian Tyler. (Tercera Edición 2015). HAZOP: Guía de mejores prácticas.

Directrices para las mejores prácticas para las industrias químicas y de procesos. *ELSEVIER*.

Gemlsa. (2023). *¿Qué es y Cómo Funciona un Tanque de Condensado?* Obtenido de

<https://www.gemlsa.com/que-es-y-como-funciona-un-tanque-de-condensado>

ICONTEC. (2004). Calderas, Controles y Dispositivos de Seguridad para las Calderas de Control de Combustión Automático. *Scribd*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/394183913/NTC3649-Calderas>

INDUSTRYDOCS. (s.f.). *Directrices generales para PHA: análisis de riesgos de procesos*. Recuperado el 2023, de [https://www.industrydocs.org/pha\\_guidelines.html](https://www.industrydocs.org/pha_guidelines.html)

Ing. Manuel Palacios Vidal Capítulo de Ingeniería Mecánica y Mecánica Eléctrica. Consejo Departamental de Lima-CIP. (2020). Webinar. Controles de Operación y Seguridad en Calderas de Vapor. Lima, Perú. Obtenido de [https://www.youtube.com/watch?v=tI2lieHrWsw&ab\\_channel=Ingenier%C3%ADaTV](https://www.youtube.com/watch?v=tI2lieHrWsw&ab_channel=Ingenier%C3%ADaTV)

Laboratoriumdiscounter. (2006). Información de seguridad voluntaria apoyándose en el formato de fichade datos de seguridad conforme al Reglamento (CE) n.º 1907/2006 (REACH).

M. H. Cely; A. Sandoval y F. Valencia. (2015). Fuzzy system for the detection and diagnosis of failure to steam generation. *Scientia et Technica Año XX*, 20(1).

M. H. Galán. (jul. 2017). Implementation of risk management to equipment and productive systems. *DYNA*, 84(202), 247-254.

M. M. Hernández; F. L. y J. López. (2013). Modelado e implementación de un sistema automático de detección y diagnóstico de fallas basado en redes de PETRI para el proceso hogar en la generación de vapor. *Scientia ei Technica*, 18(4).

- Muñoz, F. G. (s.f.). *Plan de Inspección de Equipos Estáticos basado en el Riesgo, Para AES GENER S.A., Termoeléctrica Ventanas*. Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso, Chile.
- Nolan, D. P. (Cuarta Edición 2014). *Safety and Security Review for the Process Industries: Application of HAZOP, PHA, What-If and SVA Reviews*. USA: Elsevier Inc.
- Noriega, R. P. (06 de Agosto de 2022). *Accidentes en Calderas*. (Servicios Preventivos de Seguridad Industrial) Obtenido de <https://tantalus.es/caldera-pirotubular-funcionamiento-ventajas-y-aplicaciones>
- Otero, C. (22 de 10 de 2023). *Caldera Pirotubular: funcionamiento, ventajas y aplicaciones*. (Tantalus) Obtenido de <https://tantalus.es/caldera-pirotubular-funcionamiento-ventajas-y-aplicaciones>
- Puerta, F. A. (2007). Guía para la selección y aplicación de las técnicas de PHA (análisis de peligros de procesos). (*Projecte/Treball Final de Carrera*). UPC, Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona, Departament de Projectes d'Enginyeria. Obtenido de <http://hdl.handle.net/2099.1/4187>
- Rutgers, U. d. (2019). Seguridad en Laboratorios. *Universidad de los Andes*.
- TECVAIN: I.C.E. S.A.C. ; ANEIMERA: idegas; InGEVAP S.A.C. (s.f.). *MANUAL 3. Sistema de Seguridad en Calderas*.
- Vargas, S. G. (2021). Evaluación, Diseño y Aplicación de Prueba "Indicador de Salud" para las Calderas del Departamento de Servicios Industriales de la Refinería de Barrancabermeja. *Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas*.

## Apéndice A

### Normas y estándares para el trabajo en caldera pirotubular.

Para el correcto funcionamiento y la adecuada operación de equipos generadores de vapor, es necesario el real conocimiento de normas y seguir normas estipuladas de organismos verídicos. Dentro de la legislación colombiana, no hay un reglamento único y específico para el trabajo en general con Calderas, solo se puede mencionar la “Guía para la identificación de peligros, valoración de riesgos y determinación de Controles” por el Ministerio de Salud y Protección Social como la Guía Técnica Colombiana GTC 45 y la Resolución 909 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial del 5 de junio de 2008 “Por la cual se establece las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones”. Para la aplicación puntual tenemos la siguiente legislación:

ASME aborda las Normas de Operación y Mantenimiento de Calderas y Recipientes a Presión (Engineers). Los parámetros máximos de control Normas ASME Calderas <300 psig, son:

**Alimentación caldera:** Oxígeno disuelto  $O_2$  <0,007 ppm (mg/L), Hierro total <0,1 ppm, Cobre total <0,05 ppm, Dureza total como  $CaCO_3$  =1ppm, pH a 25°C de 8,3 a 10,5, No volátiles TOC (Carbono orgánico total) >10 ppm, Materia grasa <1 ppm.

**Agua de caldera (purga):** Sílice <150 ppm, Alcalinidad total <700 ppm, Conductividad especifica sin neutralizar a 25°C <7000.

**Vapor:** TDS (Sólidos totales disueltos) Máximo 1 ppm.

Principalmente, ICONTEC regula la fabricación y el mantenimiento de estos equipos a partir de:

**NTC 520 Tubos de acero al carbono dispuestos en el hogar de la caldera**, habla sobre cómo se fabricarán los tubos mediante los procesos de soldadura por resistencia eléctrica para servicios de alta tensión, después se tratan térmicamente los tubos a una temperatura igual o mayor de 900°C y seguidamente se enfrían con aire. Cuando se insertan los tubos en la caldera deberán soportar la expansión curvado sin que aparezcan grietas, rajaduras ni soldadura abierta, durante el montaje de los tubos no se deben presentar defectos. La composición química de colada del acero de estos tubos debe ser: 0,06-0,18 Carbono; 0,27-0,63 de Manganeso; Máximo de Potasio 0,035; Máximo de Azufre 0,035; Máximo de Silicio 0,25. Resistencia a la tracción, mínima: 325 MPa; Límite de fluencia, mínimo: 180MPa; Alargamiento porcentual de rotura mínimo (en probeta de longitud calibrada  $L_0=50$  mm): 35%.

**NTC 1762 Válvulas Tipo Globo, de compuerta y de retención de Aleaciones de cobre.** Habla sobre el límite superior para las válvulas serie A, será una temperatura de 260°C para válvulas bridadas y roscadas, con disco metálico y materiales de la superficie del sello y temperatura menor de 260°C cuando la válvula está equipada con discos removibles y/o contruidos de fundición impregnada.

**NTC 3649. CALDERAS. Controles y Dispositivos de Seguridad para las Calderas de Control de Combustión Automático.** ENSAYO Y MANTENIMIENTO CG-400: Los fabricantes de los controles y dispositivos de seguridad deben detallar instrucciones relacionadas con los procedimientos y frecuencia de limpieza como también de los ensayos a realizar, el mantenimiento y los procedimientos de servicio. Las instrucciones deben indicar que las láminas de recubrimiento, los elementos destinados a encerrar diferentes partes de la caldera y los elementos de protección se deben mantener en su lugar en todo momento excepto durante el mantenimiento. CERTIFICACIÓN E INFORME CG-500. Los

fabricantes de las calderas ensambladas en fabrica, deben llevar un archivo de la caldera donde se encuentre todo control y dispositivo de seguridad con nombre de fabricante, número de modelo y los ensayos de funcionamiento. Los contratistas encargados de la instalación deben dejar un informe de la operación juntos con los diagramas completos de tubería y cableado. ENSAYOS Y MANTENIMIENTO PERIÓDICO CM-100. El Programa de Mantenimiento Preventivo se debe hacer (Ver **Tabla 5**): *Diariamente*: Verificar la llama en el quemador; *Semanalmente*: Verificar el funcionamiento del sistema de ignición, de detección de la llama, de la alarma y del corte de suministro de combustible por bajo nivel de agua; *Mensualmente*: Revisar los ventiladores y hacer verificación de fugas en las válvulas de cierre de seguridad del quemador, del interruptor de encendido con fuego bajo y del interruptor de sobrepresión y baja presión del equipo; *Semestralmente*: Hacer inspección de componentes del quemador, verificación de componentes del sistema, como también de las tuberías y el cableado, recalibración de todos los instrumentos de medida y de registro y hacer ensayo de drenaje lento; *Anualmente*: Reemplazar tubos de vacío, elementos de exploración, sistemas de control de llama según indicación del fabricante, verificar todos los diafragmas y partes operativas de todas las válvulas de control y cierre de seguridad. *Cuando sea necesario*: Verificar el comportamiento de las Válvulas de Seguridad según el Código ASME Boiler and Pressure Vessel Code Secciones VI y VII, donde es específico cuando hay válvulas de alivio de presión conectadas a una tubería interna de la caldera, también cuando se requiere reemplazo de la válvula y cuando cada mes se debe realizar una prueba de palanca a las válvulas de seguridad. Calibrar o reemplazar el control de flujo de combustible por nivel mínimo de agua. REQUISITOS ELÉCTRICOS CE-100. A diferencia de los requisitos establecidos para los interruptores de combustible para nivel mínimo de agua, las calderas del tipo tubo de agua o serpentín que requieren de una circulación forzada para impedir el

sobrecalentamiento y falla de los tubos o serpentines, deben tener un dispositivo, previamente aceptado, para impedir la operación del quemador con un caudal inapropiado y proteger así la caldera contra el sobrecalentamiento. Este dispositivo debe apagar el quemador y prevenir que se vuelva a encender hasta que se haya reestablecido el flujo adecuado. Los motores deben estar protegidos durante su funcionamiento mediante una protección térmica total y contra goteo o el rocío si están expuestos, además deben estar dotados de una placa de identificación resistente a la corrosión, El cableado para calderas debe resistir la temperatura máxima de operación a la cual puede verse expuesto de acuerdo con la NFPA N°70, (NTC 2050), como también el cableado entre componentes debe tener conductores de cobre cuyo tamaño no sea inferior al No. 18AWG y estos conductores deben estar protegidos adecuadamente contra daños físicos. (ICONTEC, 2004)

**Tabla 5**

*Lista recomendada para la realización de los ensayos periódicos.*

<b>Elemento</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Responsable</b>	<b>Observaciones</b>
Medidores, aparatos de comprobación, indicadores	Diaria	Operario	Realizar una inspección visual y registrar las lecturas.
Posición de ajuste de equipos e instrumentos	Diaria	Operario	Realizar una inspección visual y compararla con las especificaciones recomendadas por el fabricante
Control del régimen de combustión	Semanal	Operario	Verificar el ajuste dado por el fabricante.
	Semestral	Técnico de mantenimiento	Verificar el ajuste dado por el fabricante.
	Anual	Técnico de mantenimiento	Realizar el ensayo de combustión
Tubos de humo, orificio de ventilación, chimenea o registros de salida	Mensual	Operario	Realizar inspección visual de las uniones, verificar el funcionamiento adecuado.
Encendedor	Semanal	Operario	Realizar una inspección visual, verificar la intensidad de la señal de llama si está acoplada a un medidor (véanse "Controles de seguridad de la combustión")

Continuación **Tabla 5...**

<b>Elemento</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Responsable</b>	<b>Observaciones</b>
Válvulas de combustible Piloto y tubería de entrada	Semanal	Operario	Abrir el interruptor límite (realizar una inspección visual y sonora), verificar los indicadores de posición de la válvula y los medidores de flujo de combustible si los hay.
Piloto y tubería principal de gas o de combustible líquido	Anual	Técnico de mantenimiento	Realizar ensayos de fuga con base en las instrucciones del fabricante.
Alarma e interruptor de combustible para nivel mínimo de agua	Diario/semanal	Operador	Se hace referencia a las instrucciones del fabricante
	Semestral	Operador	Realizar un ensayo de drenaje lento de acuerdo con el código ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section VI.
Control de Seguridad de límite elevado	Anual	Técnico de mantenimiento	Se hace referencia a las instrucciones del fabricante
Control de operación	Anual	Técnico de mantenimiento	Se hace referencia a las instrucciones del fabricante
Dispositivos de enclavamiento de: tiro leve, ventiladores, presión de aire y posición de los registros de aire.	Mensual	Operario	Se hace referencia a las instrucciones del fabricante
Enclavamiento de atomización aire/vapor	Anual	Técnico de mantenimiento	Se hace referencia a las instrucciones del fabricante
Enclavamiento por sobrepresión y baja presión del combustible líquido.	Mensual	Operario	Se hace referencia a las instrucciones del fabricante
Enclavamiento por sobrepresión y baja presión del gas	Mensual	Operario	Se hace referencia a las instrucciones del fabricante
Enclavamiento por sobre temperaturas y bajas temperaturas del combustible líquido	Mensual	Operario	Se hace referencia a las instrucciones del fabricante
Interruptor de enclavamiento de la válvula de combustible	Anual	Técnico de mantenimiento	Se hace referencia a las instrucciones del fabricante
Interruptor de purga	Anual	Técnico de mantenimiento	Se hace referencia a las instrucciones del fabricante
Enclavamiento de la posición del quemador	Anual	Técnico de mantenimiento	Se hace referencia a las instrucciones del fabricante
Enclavamiento de la copa giratoria	Anual	Técnico de mantenimiento	Se hace referencia a las instrucciones del fabricante
Enclavamiento del encendido con fuego bajo	Anual	Técnico de mantenimiento	Se hace referencia a las instrucciones del fabricante

Continuación **Tabla 5...**

<b>Elemento</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Responsable</b>	<b>Observaciones</b>
Control automático de permutación (doble combustible) válvulas de seguridad	Por lo menos anual	Técnico de mantenimiento	Bajo supervisión de la compañía que suministra el gas
Válvulas de seguridad	Según sea necesario	Operario	De acuerdo con el procedimiento de la Sección VI. ASME Boiler and Pressure Vessel Code Recommended Rules for Care and Operation of Heating Boilers.
Revisar los componentes del quemador	Semestral	Técnico de mantenimiento	Se hace referencia a las instrucciones del fabricante
Controles de seguridad de la combustión Falla de la llama	Semanal	Operario	Cerrar el suministro manual de Combustible hacia las válvulas y/o llaves de combustible del (1) piloto, (2) principal; verificar el período del corte de seguridad, registrar los datos.
Intensidad de la señal de la llama	Semanal	Operario	Si el medidor de la señal de la llama lee y registra tanto la llama del piloto como la llama principal, se debe informar a la oficina de mantenimiento y cuando las lecturas son demasiado altas, bajas o variables con respecto a las instrucciones del fabricante.
Ensayos de disminución de la capacidad del piloto	Anual o según sea necesario	Técnico de mantenimiento	Necesario después de cualquier ajuste en el soporte del dispositivo explorador de llama o en el quemador del piloto. De verificación anual (se debe hacer referencia a las instrucciones del fabricante)
Refractario	Anual o según sea necesario	Técnico de mantenimiento	Véanse los "ensayos sobre disminución de la capacidad del piloto".

**Fuente:** Adaptado de *NTC3649 Calderas*, por ICONTEC, 2015,

(<https://www.scribd.com/document/394183913/NTC3649-Calderas>) (ICONTEC, 2004)

EQUIPOS PARA UNIDADES DE CALDERAS EN ENCENDIDO POR GAS CF-100. Requisitos de barrido: cuatro cambios de aire en 90 s o una abertura del registro de aire del 60%, antes de encender el piloto permanente debe haber 5 minutos de corte; Ignición del quemador principal de forma directa 4 s; Tiempo de respuesta ante falla de la llama: 4s; Tiempo máximo de cierre válvula de seguridad: 5s; En caso de pérdida de aire de combustión cierre de seguridad (bloqueo). Se debe colocar una trampa de condensado siempre que exista un tramo vertical de tubería, suministrada por el fabricante, aguas arriba de los controles de gas. Toda línea de suministro hacia el quemador principal debe estar dotada con una válvula o válvulas de cierre de seguridad que cumplan con los requisitos correspondientes de la norma ANSI Z21.21. American National Standard for Automatic Valves for Gas Appliances, presión máxima de funcionamiento desde ½ psi hasta 60 psi, válvulas automáticas que son capaces de operar a temperatura ambiente de 0°C a 51,5°C. El suministro de gas a los pilotos se debe suspender automáticamente si el piloto no se ha probado; El tiempo de respuesta a la falla de la llama en el caso de los pilotos adicionales empleados para un encendido uniforme no debe exceder de los 90 s. La disminución de la llama en el punto de supervisión debe causar el cierre de la válvula principal de combustible y los mecanismos de ignición pueden reactivarse automáticamente una vez para encenderse nuevamente ante la siguiente disminución de la llama en el punto de supervisión en el caso de que el quemador de gas sea de tiro natural y la caldera se encuentre dotada de un cronometro de retraso que implique un período de espera obligado de por lo menos 5 min. (ICONTEC, 2004)

Continuando, en Colombia también se encuentra el **Decreto 1347 de 2021**. Decreto Único Reglamentario del Sector Trabajo, para adoptar el Programa de Prevención de Accidentes Mayores- PPAM, considerando las condiciones de trabajo, la protección de los trabajadores en el ejercicio de su profesión, la reglamentación del uso de sustancias químicas

tóxicas y peligrosas en los lugares de trabajo como también la limitación de las consecuencias de accidentes que puedan ocurrir. Este decreto va de la mano con la Política Nacional de Gestión del Riesgo, y del Plan de emergencia y contingencias -PEC para garantizar la seguridad de las personas, el medio ambiente y la infraestructura. Según el **Decreto 1347 de 2021**, el sistema de gestión de la seguridad para la prevención de accidentes mayores debe contar con mínimo una política de prevención de accidentes mayores, información de seguridad, identificación de peligros, análisis y evaluación de riesgos, participación de los trabajadores, procedimientos de operación, entrenamiento, evaluación de contratistas, revisión de seguridad pre-arranque, integridad mecánica, permisos de trabajo, gestión del cambio, preparación y respuesta ante emergencias, investigación de incidentes y accidentes mayores, indicadores de desempeño, auditorías de cumplimiento y revisión por la dirección.

También, se puede incluir el Código de Inspección de la Junta Nacional NBIC que se usa para calderas y equipos generadores de vapor cuando se encuentran en servicio, en la Parte 1 habla sobre la normativa en la Instalación, la Parte 2 habla sobre la normativa para la Inspección basada en el riesgo de la mano de ASME PCC 3-2017 Planificación de la inspección utilizando métodos basados en el riesgo y de API RP 584 Ventanas de Integridad Operacional, la Parte 3 habla sobre la normativa para Reparaciones y Alteraciones de Presión en equipos y tuberías con ASME PCC-2-2018, y, la Parte 4 habla sobre la normativa para los Dispositivos de alivio de Presión con el Código API-RP 576 Inspección cd dispositivos de alivio de presión. Adicional está NB-131 “legislación recomendada de seguridad para calderas y recipientes a presión” y NB-132 “Reglas y regulaciones administrativas recomendadas de seguridad para calderas y recipientes a presión”.

La NFPA (National Fire Protection Association) creo las normas y requisitos mínimos para la prevención contra incendio, capacitación, instalación y uso de medios de

protección contra incendio. NFPA-85 son los lineamientos del montaje y mantenimiento de los dispositivos de los sistemas de automatización y seguridad con la norma ASME-CSD 1-2018.

Las normas para el desempeño, eficiencia y efectividad de mantenimientos en generadores de vapor encendidos están consignadas en PTC 4-2013 y en ventiladores se encuentran en PTC 11-2008. ASTM D5540; D1066; D3370; D887; D 3483; D 6504, son las normas en temas relacionados con el control químico de agua y vapor.

A nivel local, está la Resolución 0322 de 2016 “Por la cual se aprueba el Plan Especial de Manejo y Protección para el Campus Central de la Universidad Industrial de Santander y su zona de influencia, declarado Bien de Interés Cultural de Ámbito Municipal”.

## Apéndice B

### Equipos del sistema de la caldera pirotubular-laboratorio de la escuela de ingeniería química UIS

#### **Figura 7**

*Suavizador de Agua W-101*



*Nota:* Modelo DI 14- serie N°:192 91, Capacidad de 11 GPM, y la Presión de trabajo de 40 PSI, año 1991, Requisito de energía:115V/1pH/60 Hz.

PROBLEMAS: Corrosión presente en el tanque y en la válvula de 3 vías. Golpe de ariete y cavitación (tuberías e instalaciones hidráulicas).

#### **Figura 8**

*Tanque de Condensados- Tanque de Alimentación de Agua T-101*



*Nota:* Capacidad de 70 GLS, precalentamiento con línea de retorno de condensados del Distribuidor de vapor S-101. Este tanque es una parte importante del sistema de vapor porque aumenta la eficiencia general de la Caldera. (Gemlsa, 2023)

**Figura 9**

*Control de Nivel Tanque de Condensados*



*Nota:* Válvula de ½”, resisten presiones hasta 100 psig, elaborado en Cobre calibre-20. Adaptado de *Flotador Industrial para Tanques de Condensados*, por Valco Industrial, 2017, ([https://www.youtube.com/watch?v=dpx087hgvTc&ab\\_channel=ValcoIndustrial](https://www.youtube.com/watch?v=dpx087hgvTc&ab_channel=ValcoIndustrial) )

**Figura 10**

*Filtro en Y para agua*



*Nota:* Tamaño Roscados (NPT): 1-1/4”, Máxima presión de operación 125 Psig, Máxima temperatura de operación 350°C. Adaptado de *Filtro Tipo “Y” AT Clase 125 LB*, por DE WIT, ( [https://dewit.com.mx/pdf/filtro\\_y\\_at\\_125lb.pdf](https://dewit.com.mx/pdf/filtro_y_at_125lb.pdf) )

**Figura 11**

*Bomba de alimentación P-10.*



*Nota:* Modelo F26HJ 3F, Frecuencia de 60 Hz, Tensión de 230/460 V, Rotación sincrónica 3600 RPM, Potencia: 3 HP (2,2 kW). Adaptado de *Centrifugal Pump-TEFC*, por WEG, 2023, (<https://www.weg.net/catalog/weg/US/es/Motores-El%C3%A9ctricos/Motor-de-Inducc%C3%ADon---NEMA/Bombas/Jet-Pump/Jet-Pump-/Centrifugal-Pump---TEFC/Bomba-Centrifuga-3-HP-2P-F56HJ-3F-230-460-V-60-Hz-IC411---TEFC---Sin-pies/p/10749234>)

**Figura 12**

*Control de Nivel de Agua Caldera 01*



*Nota:* Control de Nivel MCDonell&Miller para calderas, trabaja mediante un flotador y un microswitch. Con nivel visible y grifos de purga (5) de ½” y válvula de purga de ¾”. Máxima presión: 150 psi.

### Figura 13

*Control Auxiliar de Nivel de agua Caldera 01-B*



*Nota:* Control de conductividad para corte por bajo nivel, Modelo 26NMCLA0 Warrick, Tensión de 110 V, Potencia de 60 Hz, Temperatura -40°C a +65°C, Sistema de Reset manual, Electrodo 3BIA; Relé 1G1DOA. El sistema incluye adicionalmente, sistema de contactos con alimentación y sensor de bajo voltaje de monitoreo LED. Adaptado de *Control de Corte por Bajo Nivel Warrick 26MC1A0*, por VENAMET, (<https://www.venamet.com/producto/control-de-corte-por-bajo-nivel-warrick-26mc1a0/>)

### Figura 14

*Control Límite de Presión 02*



*Nota:* Modelo L404A-1404 HONEYWELL, Rango de operación de 10 a 150 psi, Diferencial de escala media (ajustable) de 8 a 16 psi, Máximo aumento de presión 225 psi, Conexión de ¼”-18

NPT. Adaptado de *Reguladores de Presión Honeywell*, por RECISA, (<https://recisa.com.mx/producto/honeywell-control-de-monitoreo-de-presion-pressuretrol-l404f-t-v/>) (TECVAIN: I.C.E. S.A.C. ; ANEIMERA: idegas; InGEVAP S.A.C.)

**Figura 15**  
*Válvula de Seguridad*



*Nota:* Válvula Consolidated 1543 Series de 1-1/2" 150 psi, Rango de operación: 5 a 350 psig, Rango de temperatura: -20 ° F (-28,9 ° C) a 420 ° F (215,6 ° C), Purga 4%. Equipada con dos anillos de ajuste para permitir una acción de apertura nítida y elevación completa a una sobrepresión de 3%. Certificación ASME B&PVC Sección I y VIII. Adaptado de *Válvulas de seguridad*, por SMART INSTRUMENTS, (<http://www.smartinstruments.co/valvulas-de-seguridad/>)

ADVERTENCIA: No tape los orificios de drenaje. El fluido descargado puede escapar a la atmosfera a través del respiradero del capó y conexiones de drenaje, por lo que se deben evitar aplicaciones tóxicas o peligrosas. Es necesario mantenimiento regular, cada semana se debe permitir el paso de vapor. Anualmente realizar calibración adecuada.

**Figura 16**  
*Válvula Gas del Hidra motor (Válvula Electro-Hidráulica)*



*Nota:* Válvula Solenoide ACTR. CAT. No. AH2B112A, Número de serie: 88368, Tensión de 120 V, Potencia de 60 Hz, Tiempo de apertura Rápida: 7-12 segundos, Tiempo de apertura Lenta: 14-26 segundos, Tiempo máx. de cierre: 1 segundo, Interruptor de bloqueo de sobre carrera del sello de la válvula 15AMPS a 120 VAC y de la válvula de 7,5AMPS A 240 VAC, Rango de Temperatura: -40°F A + 150°F, Fuerza de vástago: 200 LBS. Adaptado de *Industrial y Eléctrico*, por amazon, (<https://www.amazon.com/NEW-ASCO-AH2D112A4-HYDRAMOTOR-VALVE/dp/B079RTBQTQ>). Actualmente se encuentra discontinuada.

**Figura 17**  
*Ventilador aire*



*Nota:* Motor de 2 Polos, 3375 RPM, Marca SIEMENS 3-Mot 1LA3 095-2 YB60, Potencia 2,4 HP, Corriente Nominal [A] 220/440 - 7/3,5, Frecuencia de 60 Hz. Adaptado de Motores Trifásicos de Uso Severo con Carcasa en Hierro y eficiencia Aumentada, TEFC, Aislamiento VPI (en Vacío), Clase F, por SIEMENS, (<https://www.sumecon.com/pdf/Catalogo%20Motores%20Electricos%202012.pdf>)

**Figura 18***Fotocelda Ultravioleta UV2*

*Nota:* El UV2 (36 pulgadas) es un sensor sin auto chequeo, Conexión 3/8" NPT, 3FT de cable.

Adoptado de *Fireeye Flame Scanners*, por FIREYE, (<https://comainsa.com/wp-content/uploads/2021/08/22.-FOTOCELDA-ULTRAVIOLETA-UV1A3-FIREYE.pdf>)

**Figura 19***Transformador de Encendido*

*Nota:* Transformador de encendido Webster 612-6A020, Tensión de 115/6000 V, Potencia 60 Hz. Adaptado de *Transformador de Encendido 6126A020*, por SBIS, (<https://sbindustrialsupply.com/shop/new-webster-612-6a020-ignition-transformer-6126a020/>)

**Figura 20***Válvula Solenoide de Ignición*

*Nota:* Válvula de gas K3A442-Conexión 1/2" NPT, Potencia 60 Hz.

**Figura 21***Electrodo de Ignición*

*Nota:* Electrodo de Ignición DIELECTRIC para encendido de Caldera de 9/16”\*12”\*5/8”, Conexión a Presión. Adaptado de *Electrodos de encendido e ionización con cable*, por Servicios Técnicos e Importaciones STI LTDA, (<https://sti-gas.com/electrodos-encendido-ionizacion-con-cable-combustion/> )

**Figura 22***Quemador de Gas Natural Fuel Oil SILG Quemador de Gas Natural Fuel Oil SILG.*

*Nota:* Quemador de Gas y Oil con capacidades de (Btu/Hr, 000) 462,200 a 63,000, Modelo CH-30-150, Número de serie A-2644, Capacidad de 30BHP, Presión de diseño 150 P.S.I., Año de construcción 1990. Adaptado de *Quemadores*, por COLMAQUINAS, (<https://www.colmaquinas.com/wp-content/uploads/2017/08/pfQuemadores.pdf>)

## Apéndice C

Sustancias proceso de generación de vapor caldera pirotubular

Tabla 6

*Características del agua procedente del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga*

<b>PARÁMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS, MICROBIOLÓGICOS Y ORGANOLÉPTICOS</b>	<b>PROMEDIO Ene-Sep 2023</b>	<b>Res. 2115/2007</b>
Cloro Residual [mg Cl <sub>2</sub> /L]	1,21	0,3-2,0
Turbiedad [NTU]	1	≤ 2
Color Aparente {Unidades Pt.Co}	8,4	≤ 15
pH [Unidades de pH]	7,18	6,5-9,0
Conductividad a 25°C [μS/cm]	155	≤ 1000
Olor	Aceptable	Aceptable
Sabor	Aceptable	Aceptable
Aluminio [mg Al/L]	0,08	≤0,2
Alcalinidad a pH 4,5 [mg CaCo <sub>2</sub> /L]	44,8	≤200
Dureza Total [mg CaCo <sub>2</sub> /L]	60,1	≤300
Cloruros [mg Cl/L]	3,3	≤250
Sulfatos [mg SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /L]	23,8	≤ 250
Hierro Total [mg Fe/L]	<0,060	≤0,3
Nitratos [mg NO <sub>3</sub> /L]	0,93	≤10
Nitratos [mg NO <sub>2</sub> /L]	<0,01	≤0,1
Calcio [mg Ca/L]	19,4	≤60
Fósforo Reactivo [mg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> /L]	<0,040	≤0,5
Manganeso [mg Mn/L]	<0,07	≤0,1
Molibdeno [mg Mo /L]	<0,010	≤0,07
Magnesio [mg Mg/L]	2,7	≤36
Zinc [mg Zn/L]	<0,05	≤3
Fluoruros [mg F/L]	<0,13	≤1,0
Carbono Orgánico Total [mg COT/L]	0,99	≤5,0
Cianuro Libre [mg CN/L]	<0,01	≤0,05
Mercurio [mg Hg/L]	<0,00060	≤0,001
Recuento de Heterótrofos [UFC/100ml]	19	≤100
Coliformes Totales [UFC/100ml]	0	0
Escherichia coli [UFC/100ml]	0	0
IRCA[%] Índice de Riesgo de Calidad	0,74	0-5

**Fuente:** Adaptación de AMB. (<https://www.amb.com.co/amb/conoce-amb/nuestros-procesos/laboratorio-de-calidad-de-aguas/>) (ESP, Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S. A., 2023)

**Agua blanda**, El agua blanda utilizada para el funcionamiento de la Caldera es agua del acuerdo metropolitano de Bucaramanga (*Ver Tabla 6*) que es tratada para obtener agua con bajos niveles de calcio y magnesio, conforme al Reglamento (CE) n.º 1907/2006 (REACH), Número CE: 231-791-2, Número CAS 7732-18-5 (Laboriumdiscounter, 2006), los usos pertinentes identificados son: Producto químico de laboratorio-Uso analítico y de laboratorio, los usos desaconsejados son: No utilizar en productos que estarán en contacto directo con alimentos ni bebidas. No utilizar para propósitos privados (domésticos). No es necesario etiquetarla, La evaluación de esta sustancia determina que no es PBT ni mPmB.

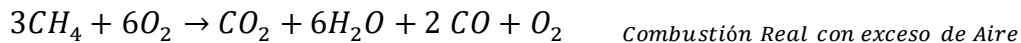
Fórmula molecular: H<sub>2</sub>O, masa molar :18,02 g/mol, en caso de ingestión: enjuagarse la boca. Llamar a un médico si la persona se encuentra mal. Debe permanecer en un recipiente herméticamente cerrado, Temperatura recomendada de almacenamiento: 15-25°C, Controles de exposición: Llevar gafas de protección contra salpicaduras, Mantener el producto alejado de los desagües y de las aguas superficiales y subterráneas para evitar la contaminación química ambiental y los impactos negativos en la salud de los ecosistemas acuáticos. Estado físico: líquido, Incoloro, Inodoro Punto de fusión/Punto de Congelamiento:0°C, no Inflamable, pH: 7(20°C), Presión de vapor: 23 hPa a 20°C, Densidad: 1 g/cm<sup>3</sup> a 20°C, Este material no es reactivo bajo condiciones ambientales normales, Reacciones fuertes con: Metales alcalinos, Carburo, Metal alcalinotérreo.

**Energía eléctrica**, la potencia eléctrica de la caldera es una relación entre la potencia térmica y la eficiencia eléctrica, siendo un valor típico de la eficiencia térmica en los sistema de

generación de vapor del orden del 20% al 40% . Un valor medio de la potencia eléctrica asumiendo la eficiencia eléctrica del 30% es igual a 981.096,13 kW.

**Gas natural.** Es un gas ligero de origen fósil, conformado en mayor porcentaje por gas metano CH<sub>4</sub> (85%-90%) y en menor porcentaje por etano, butano, propano y otras fracciones más pesadas, El peso Molecular del gas natural es igual a 17,808 Kg/Kmol, Poder Calorífico Superior: 12828 kcal/kg y el Índice de Wobbe es de 28,41 MBtu/Nm<sup>3</sup>. Dentro de las ventajas medio ambientales, se tiene un contenido máximo de 15mg/Sm<sup>3</sup> de azufre y 3mg/Sm<sup>3</sup> de Sulfuro de hidrógeno, reducción de hasta 100% de SO<sub>2</sub> y menos generación de CO<sub>2</sub> que de los combustibles fósiles, cuenta con menor peligro de explosiones debido a que su densidad es menor que la del aire, no requiere precalentador ni tanques de almacenamiento. El consumo dentro del equipo es de (35315 Btu/m<sup>3</sup>) 35,55 m<sup>3</sup>/h, con densidad promedio de 0,65 kg/m<sup>3</sup>. (Adama Marcelo; Jairo Arly; Ipanaque Carrasco; Victor Wigeberto, 2019)

**Aire.** El aire está compuesto por 21% de oxígeno (O<sub>2</sub>) y 79% de nitrógeno (N<sub>2</sub>) y su densidad promedio en Bucaramanga es de 0,1039 Kg/m<sup>3</sup>. Debido a que las condiciones del equipo y de la combustión no son ideales, es necesario proporcionar exceso de aire para un consumo total del combustible, la cantidad de exceso de aire por hora para el funcionamiento de la caldera es de aproximadamente 46,215 Kg, cerca de 444,8 m<sup>3</sup>/h.



**Cloruro de sodio,** esta sustancia se usa para el mantenimiento del tanque suavizador, se usa la solución de cloruro de sodio al 10%, una vez por año con mantenimiento general en contracorriente, esta solución se encarga de regenerar las resinas catiónicas en el interior del suavizador de agua. Se recomienda mantener el tanque de salmuera con al menos un cuarto lleno

de sal suavizante de agua en todo momento, el nivel de sal se debe mantener siempre unos centímetros por encima del nivel del agua.

**Ácido salicílico**, el cual contiene propiedades antioxidantes que pueden ayudar a prevenir la corrosión y proteger los componentes metálicos, también puede ayudar a prevenir el crecimiento de hongos y bacterias en sistemas de agua se aplica 100 ml (sobre 200 ml) cada mes en el tanque suavizador.

**Resina**, se utiliza en el suavizador de agua, es una resina de intercambio iónico de poliestireno, esta resina contiene grupos funcionales negativos que atraen, retienen los iones de calcio y magnesio para ser intercambiados por iones de sodio que están presentes inicialmente en la resina. Con el tiempo la resina se satura y la capacidad de intercambio iónico disminuye, la regeneración se hace con cloruro de sodio.