



**El valor financiero que agrega la confiabilidad al ciclo de vida de un activo físico en una empresa del sector almacenamiento y depósito de aceites vegetales y lubricantes.**

Moisés Ariza Jiménez  
Simón Saldarriaga Flórez

Monografía presentada para optar al título de Especialista en Gestión de Activos

Tutor

Juan Carlos Orrego Barrera, Magister en Gestión energética industrial

Universidad de Antioquia  
Facultad de Ingeniería  
Especialización en Gestión de Activos  
Medellín, Antioquia, Colombia  
2022

<b>Cita</b>	(Ariza Jiménez & Saldarriaga Flórez, 2022)
<b>Referencia</b>	Ariza Jiménez, M. J., & Saldarriaga Flórez, S. (2022). <i>El valor financiero que agrega la confiabilidad al ciclo de vida de un activo físico en una empresa del sector almacenamiento y depósito de aceites vegetales y lubricantes.</i>
<b>Estilo APA 7 (2020)</b>	[Trabajo de grado especialización]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.



Especialización en Gestión de Activos



Centro de Documentación de Ingeniería (CENDOI)

**Repositorio Institucional:** <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - [www.udea.edu.co](http://www.udea.edu.co)

**Rector:** John Jairo Arboleda Céspedes.

**Decano:** Francisco Vargas

**Jefe departamento:** Pedro León Simancas

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

### **Dedicatoria**

Agradezco ante todo a Dios por ser mi guía a lo largo de mi estudio de postgrado, a mis padres Alexandra Jiménez y Servio Ariza, quienes fueron mi apoyo incondicional durante esta etapa de crecimiento profesional.

A mis hermanos Keila Ariza, Sergio Ariza, Alexandra Ariza y Ruth Ariza por brindarme esa voz de aliento en los momentos difíciles; y en especial a mi Novia Ana Silvia Rojas por brindarme todo su amor; dedicación y motivación durante la culminación

De mi estudio de postgrado

A mis compañeros de Universidad Simón Saldarriaga y Viviana Sanín, porque gracias a ellos conformamos un buen grupo de trabajo que durante el ciclo académico se lograron cumplir todos los objetivos propuestos con satisfacción.

**Moisés Jacob Ariza Jiménez**

Hoy quiero agradecer en este trabajo a Dios por permitirme llegar hasta este punto de mi vida, con la ayuda de Él saque adelante esta especialización, además agradecer a mis padres quienes siempre están al pendiente de mí y velan por mi bienestar, a mi grupo de trabajo tanto Moisés Ariza quien fue la persona que estuvo dispuesto a trabajar de la mano para sacar esto a flote, como a Viviana Sanín quien nos acompañó durante todas las materias de postgrado y hasta el final siempre nos estuvo apoyando.

Hago una mención muy especial al profesor Juan Carlos Orrego, mi mentor, la persona que ha sido guía en mi vida profesional, y aparte por su amistad.

¡Y lo mejor para el final! para terminar dejo estos últimos agradecimientos a la persona que hoy acompaña mis proyectos de vida, a la persona que incansablemente siempre estuvo y está para darme fuerzas y siempre una voz de aliento, la persona con la que quiero compartir mi vida Natalia Andrea Sánchez Obando.

**Simón Saldarriaga Flórez**

### **Agradecimientos**

Agradecemos ante todo a Dios por brindarnos las capacidades necesarias para lograr cada uno de los objetivos propuestos a lo largo de nuestro estudio de postgrado.

También agradecemos a nuestro director de proyecto de Grado, Juan Carlos Orrego Barrera, por su dedicación en cada una de las etapas de este proyecto.

Estaremos siempre agradecidos con la Universidad de Antioquia por brindarnos los espacios necesarios para formarnos como personas idóneas y excelentes profesionales.

De igual manera, agradecemos a cada uno de los docentes de la especialización en Gestión de Activos por su significativo aporte y apoyo durante todo el desarrollo de nuestra formación profesional y humana.

A nuestra familia y amigos, por su compañía y aporte en cada de los encuentros virtuales

A todos muchas gracias

**Moisés Jacob Ariza Jiménez**

**Simón Saldarriaga Flórez**

---

## Tabla de contenido

Resumen .....	11
Abstract .....	12
Introducción .....	13
1. Planteamiento del problema .....	14
1.1. Antecedentes .....	16
2. Justificación.....	21
3. Objetivos .....	22
3.1 Objetivo general .....	22
3.2 Objetivos específicos.....	22
4. Marco Conceptual .....	23
4.1 Análisis del ciclo de vida de un Activo .....	23
4.2 Activo .....	23
4.3 Gestión de activos .....	23
4.4 Vida de un Activo.....	24
4.5 Ciclo de Vida.....	24
4.6 Confiabilidad.....	25
4.6.1 La Confiabilidad de activos físicos.....	25
4.7 CAPEX.....	27
4.8 OPEX.....	27
4.9 Costo de Ciclo de Vida (LCC) .....	27
4.9.1 Fases del ciclo de vida y sus costos .....	28
4.9.2 Cálculo del costo de ciclo de vida.....	28
5. Metodología .....	30
6. Desarrollo .....	31

---

6.1 Selección del Activo.....	31
6.2 Descripción del activo.....	32
6.3 Cálculo de confiabilidad de la caldera .....	35
6.3.1 Registro de datos.....	35
6.3.2 Distribución Weibull.....	38
6.4 Estructura de costos del activo .....	41
6.4.1 CAPEX (Adquisición del activo).....	41
6.4.2 Costos de operación .....	42
6.4.3 Costos de Mantenimiento .....	50
6.5 Análisis del costo del ciclo de vida (LCC).....	55
6.6 Relación de la confiabilidad en el costo del ciclo de vida.....	64
6.7 Metodologías basadas en confiabilidad enfocadas en la evaluación del desempeño técnico-económico de activos físicos.....	66
6.7.1 Mantenimiento basado en confiabilidad (RCM).....	67
6.7.2 Herramienta de auditoria AMORMS (Asset Management, Operational, Reliability & Maintenance Survey). .....	69
7. Conclusiones y recomendaciones.....	81
8. Referencias .....	83

---

## Listas de figuras

<b>Figura 1</b>	Costos en cada fase del Ciclo de Vida de un Producto.....	28
<b>Figura 2</b>	Caldera Piro-Tubular de 300BHP .....	32
<b>Figura 3</b>	Sistema de tratamiento y suavizado de agua .....	33
<b>Figura 4</b>	Sistema de retorno condensado.....	34
<b>Figura 5</b>	Sistema hidroneumático de presión constante .....	34
<b>Figura 6</b>	Probabilidad de falla en el tiempo (estimado y observado) y confiabilidad.....	39
<b>Figura 7</b>	Perfil de consumo de gas natural año 2018. ....	43
<b>Figura 8</b>	Costo por mantenimiento preventivos vs costos por manteamiento correctivo .....	55
<b>Figura 9</b>	Regresión lineal consumo de gas natural.....	57
<b>Figura 10</b>	Regresión lineal consumo energético motores de inducción.....	58
<b>Figura 11</b>	Regresión lineal consumo de agua m3/mes 2019-2022. ....	58
<b>Figura 12</b>	Opex actual caldera piro-tubular 300BHP.....	61
<b>figura 13</b>	Comparación entre el LCC y la confiabilidad del activo (2018-2026).....	65
<b>Figura 14</b>	Distribución porcentual de los costos del ciclo de vida.....	66
<b>Figura 15</b>	Fases para formar un ciclo de vida de mejora continua.....	70

---

## Listas de tablas

<b>Tabla 1</b> Matriz de Riesgos terminal Vopak Barranquilla.....	31
<b>Tabla 2</b> Análisis de Riesgo caldera piro-tubular.....	32
<b>Tabla 3</b> Especificaciones técnicas Caldera de vapor piro-tubular.....	33
<b>Tabla 4</b> Datos de fallas de la caldera y TTF.....	36
<b>Tabla 5</b> Cálculo de variables Ln de TTF y rango medio lineal.....	37
<b>Tabla 6</b> Beta y Eta para distribución de Weibull.....	38
<b>Tabla 7</b> Distribución de Weibull .....	39
<b>Tabla 8</b> Confiabilidad 2018-2026.....	41
<b>Tabla 9</b> Costo de adquisición Caldera Piro-tubular Continental.....	42
<b>Tabla 10</b> Costos relacionado al consumo de GN de la caldera F133A300C-GM del año 2019. ...	43
<b>Tabla 11</b> Costos relacionado al consumo de GN de la caldera F133A300C-GM del año 2020. ...	44
<b>Tabla 12</b> Costos relacionado al consumo de GN de la caldera F133A300C-GM del año 2021. ...	44
<b>Tabla 13</b> Costos relacionado al consumo de GN de la caldera F133A300C-GM del año 2022. ...	45
<b>Tabla 14</b> Consumo energético motores de inducción año 2019.....	46
<b>Tabla 15</b> Consumo energético motores de inducción año 2020.....	46
<b>Tabla 16</b> Consumo energético motores de inducción año 2021.....	47
<b>Tabla 17</b> Consumo energético motores de inducción año 2022.....	47
<b>Tabla 18</b> Consumo de agua 2019. ....	48
<b>Tabla 19</b> Consumo de agua 2020. ....	49
<b>Tabla 20</b> Consumo de agua 2021. ....	49
<b>Tabla 21</b> Consumo de agua 2022. ....	50
<b>Tabla 22</b> Costos por mantenimiento correctivo año 2018.....	51
<b>Tabla 23</b> Costos Por mantenimientos preventivos año 2018 .....	52
<b>Tabla 24</b> Costos por mantenimiento Correctivo año 2019.....	52

---

<b>Tabla 25</b> Costos por mantenimiento preventivo 2019.....	52
<b>Tabla 26</b> Costos por mantenimiento Correctivo año 2020.....	53
<b>Tabla 27</b> Costos por mantenimiento preventivo año 2020.....	53
<b>Tabla 28</b> Costos por mantenimiento correctivo año 2021.....	53
<b>Tabla 29</b> Costos por mantenimiento preventivo año 2021.....	54
<b>Tabla 30</b> Costos por mantenimiento correctivo año 2022.....	54
<b>Tabla 31</b> Costos por mantenimiento preventivo año 2022.....	55
<b>Tabla 32</b> Consumo promedio GN 2019-2022.....	56
<b>Tabla 33</b> Consumo promedio de energía 2019-2022.....	56
<b>Tabla 34</b> Consumo promedio de agua 2019-2022.....	57
<b>Tabla 35</b> Expectativa económica 2022-2027.....	59
<b>Tabla 36</b> Costos de operación y mantenimiento (Opex equipo actual).....	60
<b>Tabla 37</b> Costos de desincorporación proyectado al año 2026.....	62
<b>Tabla 38</b> Análisis del Costo del Ciclo de Vida Equipo Actual.....	63
<b>Tabla 39</b> Relación de confiabilidad histórica con los costos del ciclo de vida.....	64
<b>Tabla 40</b> Relación de la confiabilidad proyectada con los costos del ciclo vida.....	65
<b>Tabla 41</b> Aporte de herramientas y metodologías a la confiabilidad.....	67
<b>Tabla 42</b> Fases del modelo de gestión de mantenimiento (MGM).....	70
<b>Tabla 43</b> Gestión de activos, objetivo del negocio.....	72
<b>Tabla 44</b> Modelos de jerarquización basados en riesgos.....	73
<b>Tabla 45</b> Proceso de análisis de problemas.....	74
<b>Tabla 46</b> Procesos de programación, planificación y optimización de planes de mantenimiento, inspección y operaciones.....	75
<b>Tabla 47</b> Procesos de asignación de recursos, soporte informático y soporte logístico a los procesos de mantenimiento y confiabilidad.....	76
<b>Tabla 48</b> Procesos de control y análisis de indicadores técnicos del negocio (RAM).....	77

**Tabla 49** Procesos de análisis de costos de ciclo de vida.....79

**Tabla 50** Proceso de revisión y mejora continua.....80

## Resumen

El propósito del presente trabajo monográfico es evaluar por medio de la metodología (LCC) el comportamiento financiero que tiene un activo físico durante su ciclo de vida en la empresa Vopak Colombia y el impacto que tiene la confiabilidad en los costos totales del ciclo de vida útil. Con el propósito de sugerir buenas prácticas para la gestión de activos basado en la confiabilidad para generación de valor en el ciclo de vida del activo.

Esta investigación se realiza a partir de la selección del activo más crítico que tiene la empresa Vopak Barranquilla, teniendo como base principal el riesgo por seguridad que representa, los altos costos de operación y el impacto económico que puede generar una baja disponibilidad generando retrasos en las operaciones de almacenamiento, calentamiento y trasegado de producto.

Una vez analizado el comportamiento financiero de la caldera piro-tubular a lo largo de su ciclo de vida por medio de la metodología (LCC), se procede a realizar una recopilación histórica de los eventos de fallas de los últimos cuatro años de operación del activo, con el objetivo de calcular la confiabilidad histórica por medio de la distribución de Weibull. Posteriormente se relaciona el impacto que tiene la confiabilidad en los costos totales del ciclo de vida del activo.

*Palabras clave:* gestión de activos, disponibilidad, ciclo de vida, vida útil, Confiabilidad, activo, caldera.

## Abstract

The purpose of this monographic work is to evaluate by means of the methodology (LCC) the financial behavior of a physical asset during its life cycle in the company Vopak Colombia and the impact that reliability has on the total costs of the useful life cycle. With the purpose of suggesting good practices for asset management based on reliability to generate value in the life cycle of the asset.

This research is based on the selection of the most critical asset that the company Vopak Barranquilla has, having as main basis the security risk it represents, the high operating costs and the economic impact that can generate a low availability generating delays in storage, heating and product transfer operations.

Once the financial behavior of the pyro-tubular boiler has been analyzed throughout its life cycle by means of the methodology (LCC), a historical compilation of the failure events of the last four years of operation of the asset is made, with the objective of calculating the historical reliability by means of the Weibull distribution. Subsequently, the impact that reliability has on the total costs of the asset's life cycle is related.

*Key words:* asset management, availability, life cycle, useful life, reliability, asset, boiler.

## Introducción

Vopak Barranquilla Ubicada estratégicamente en la puerta de oro de Colombia en el km 7 del Rio Magdalena, principal arteria fluvial de Colombia que conecta a las mayores terminales del país. De cara a una de las principales vías industriales de la ciudad donde concurren diversos centros de producción y consumo. La terminal de Vopak Barranquilla cuenta con una de las mejores infraestructuras de la región para el manejo seguro y eficiente de aceites vegetales y lubricantes, incluyendo el acceso a un muelle fluvial privado, y diversos tamaños y características de tanques. La terminal Vopak Barranquilla cuenta con 39 tanques con tamaños de (239-4561) m<sup>3</sup> de almacenamiento para distintos productos como el aceite vegetal, animal y las bases lubricantes. La terminal Vopak Barranquilla cuenta con dos (2) calderas piro-tubulares que suministra vapor a los distintos tanques de la terminal número 1 de Vopak.

En este proyecto monográfico nos centraremos en la Caldera F133A300C-GM / 300 BHP / 150 PSI, debido a la gran importancia del activo para el desarrollo del negocio en Vopak Barranquilla. En este estudio se quiere el aseguramiento de la disponibilidad y alto grado de confiabilidad en el proceso del suministro de vapor hacia los tanques de almacenamiento. La caldera F133A300C-GM / 300 BHP / 150 PSI, ubicada en la terminal 1 de Vopak abastece los serpentines de los tanques (113-114-115-301-302-303-304-305-306-307-703-704-705-706-509-510) el cual representa 41% de los activos de infraestructura de la compañía. Por lo tanto, el sistema de calentamiento debe ofrecer una disponibilidad elevada, con el fin de no afectar el proceso almacenamiento y despacho de productos como los aceites vegetales, aceites animales y bases lubricantes.

El propósito principal de este proyecto monográfico es evaluar los costos asociados al activo en su ciclo de vida y demostrar el impacto que tiene la confiabilidad en los costos totales del ciclo de vida de la caldera piro-tubular de 300BHP, Con el objetivo de sugerir buenas prácticas para la gestión de activos que aporte valor al activo físico de la empresa de servicios de almacenamiento y depósitos de aceites vegetales y lubricantes basados en la confiabilidad.

## 1. Planteamiento del problema

Desde la década de 1970, el área de mantenimiento industrial ha sufrido grandes transformaciones dejando de ser vista como un centro generador de costos, para pasar a ser una estrategia integral de productividad, que contribuye en forma prioritaria a la generación de utilidades industriales, contribuyendo al resultado financiero y generación de valor como mejora en la disponibilidad de los activos, disminuyendo las paradas de plantas no planificadas.

Rosales (2015) expresó que, debido al desarrollo industrial a nivel mundial, el mantenimiento basado en la confiabilidad y la gestión de activos se perfilan como eje clave de la competitividad de las empresas a nivel mundial en Europa el sector de la gestión de activos brinda trabajo a más de medio millón de personas, representado más de 19 billones de euros en la industria de gestión de activos. Pues las empresas de diferentes sectores productivos hoy en día buscan rentabilizar al máximo los activos durante todo su ciclo de vida, permitiendo no solo mejorar sus estados financieros, desde el mejoramiento del costo operacional, sino en cómo relacionarlos y optimizarlos con los indicadores técnicos y operacionales, alguno de ellos son: ROI (retorno a la inversión), ROA (retorno de los activos), ROCE (retorno sobre el capital empleado), LCC (Costo del Ciclo de Vida), VO (Optimización del valor), BVC (Maximización del beneficio del ciclo de vida). Adicionalmente, permitirá el equilibrio de las actividades realizadas en las intervenciones de mantenimiento en la fase de operación y en las demás fases del ciclo de vida del activo, permitiendo definir su vida útil, su generación máxima de retorno de beneficio, su confiabilidad óptima y sus utilidades neta, para el sostenimiento de los activos durante su ciclo de vida de acuerdo con el contexto operacional de las empresas del sector productivo y competitivo.

(ACIEM, 2021) en el diagnóstico de la gestión de activos y mantenimiento en Colombia establece que en la actualidad las empresas a nivel nacional y mundial cada vez son más consciente de la importancia de gestionar adecuadamente sus activos ya una buena implementación brindara respuestas confiables a los objetivos de sus negocios y generar valor a través de ellos.

De acuerdo con el más reciente estudio del diagnóstico del mantenimiento en Colombia (ACIEM, 2021) aplicó 324 encuestas a líderes mantenedores de activos y gerentes de pequeñas, medianas y grandes empresas dando como resultado que el 63% de los encuestados reconocen que la implementación de la gestión de activos permitirá mejorar el desempeño de los activos durante su ciclo de vida.

El análisis del Costo de Ciclo de Vida y las técnicas para análisis de la confiabilidad son herramientas para evaluar en cada etapa lo que le costará a una organización adquirir y mantener un activo con una probabilidad mínima de que no falle en su proceso productivo. En el sector manufacturero especialmente en grandes compañías, desde el departamento de mantenimiento tratan de adoptar prácticas y técnicas de mantenimiento basado en la confiabilidad valorando aspectos en especial para minimizar las consecuencias por la probabilidad de fallas de los equipos, y así, poder finalmente evaluarlos como indicadores financieros y tener criterios para la toma de decisiones sobre este tipo de activos.

El objetivo principal de un análisis del Costo de Ciclo de Vida de un activo es cuantificar la totalidad de los gastos directos o indirectos, fijos o variables pagados por este a lo largo de su vida útil. Esta información es importante para soportar técnicamente decisiones de adquisición de equipos, optimización y rediseños, programación de mantenimientos y repotenciación o sustitución de un activo.

En las últimas décadas, las empresas de manufactura para lograr su objetivo social necesitan que los activos físicos se mantengan en un estado de funcionamiento, confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad adecuados a sus necesidades, al procurar que su vida útil sea el máximo generador de valor, y es por esto que la gestión de mantenimiento basado en confiabilidad y de los activos físicos son un factor relevante para el logro de las competitividad y de la excelencia operacional en la empresa.

El desafío más importante es optimizar los costos para la operación, sin descuidar la calidad y confiabilidad del sistema. La correlación entre el costo y la calidad del producto o servicio es compleja. Típicamente, los efectos de cualquier decisión y medidas se ven reflejados en el corto plazo, por ejemplo, si se reduce el mantenimiento preventivo los costos se reducen desde el momento en que se aplica la nueva estrategia. Sin embargo, en términos de calidad, muchos de los efectos se reflejarán en el mediano y largo plazo, por ejemplo, la reducción del mantenimiento preventivo llevará a un incremento apreciable en la falla de los componentes solamente después de varios años de operación bajo la nueva estrategia, afectando la confiabilidad de los activos. Es por esto, que las empresas deberán implementar metodologías basadas en confiabilidad enfocada en la evaluación del desempeño técnico-económico de activos físicos aportando resultados positivos financieramente a las compañías.

---

El desarrollo industrial a nivel mundial, debido al mantenimiento basado en la confiabilidad y la gestión de activos se perfilan como eje clave de la competitividad de las empresas a nivel mundial en Europa el sector de la gestión de activos brinda trabajo a más de medio millón de personas, representado más de 19 billones de euros en la industria de gestión de activos (Rosales, 2015).

### **1.1. Antecedentes**

Para poder hablar de la confiabilidad en los activos físicos primero debemos saber que la confiabilidad nos habla de una probabilidad que se lleva a cabo en el proceso de mantenimiento donde cada activo cumple su función requerida en su contexto operacional durante un periodo de tiempo determinado. Como se menciona al ser una probabilidad vista desde el mantenimiento y este a su vez hace parte del ciclo de vida de un activo, se debe identificar cuál es la contribución que hace el mantenimiento al proceso de gestión de activos físicos de una compañía.

El análisis de costo de ciclo de vida (ACCV) es una metodología desarrollada para evaluar cómo varían los costos de un activo a lo largo de su vida útil. El propósito de este trabajo monográfico es cuantificar el impacto de la mejora de la confiabilidad en los costos totales de ciclo de vida de una caldera piro-tubular de 300BHP en una empresa del sector de almacenamiento y depósito de aceites vegetales y lubricantes. En los últimos años muchos investigadores en las áreas de Ingeniería del valor han implementado diversas técnicas que cuantifican el factor confiabilidad y el impacto de los eventos de fallas sobre los costos totales de un sistema de producción a lo largo de su Ciclo de Vida (Woodhouse, 1993). La implementación de esas técnicas ha contribuido a la toma de decisiones sobre la incertidumbre que se presenta en las etapas del Ciclo de Vida de los activos desde su diseño hasta su desincorporación. Los investigadores Markeset y Kumar (2001) en tu artículo de investigación titulado **“R&M and Risk-Analysis Tools in Product Design to Reduce Life-Cycle Cost and Improve Attractiveness”** plantean que desde la etapa del diseño de un activo para una organización el objetivo del diseñador es satisfacer a los clientes y al mismo tiempo limitar el impacto de los costos de fabricación a un nivel aceptable, considerar la confiabilidad y la mantenibilidad desde la fase del diseño de un activo contribuyen positivamente al logro de los objetivos organizaciones, la confiabilidad tiene un alto impacto en el Ciclo de Vida del activo e influyen en gran medidas sobre los costos totales de producción y ayudan aumentar el rendimiento del activo y su atractivo. La cuantificación del factor confiabilidad dentro de un

---

sistema productivo eficiente, de acuerdo con (Woodhouse, 1991). Permite a la organización predecir la forma de cómo los procesos de producción de su organización pueden perder su continuidad operacional debido a eventos de fallas imprevistos, además proporciona a todas las partes interesadas de la organización analizar y evaluar el impacto económico (costos) que ocasionan los fallas en los diferentes departamentos de la compañía como el medio ambiente, la seguridad, las operaciones o la producción. (Kirt y Dellisola, 1996), definen el análisis del Costos del Ciclo de Vida como una técnica de cálculo económico que permite optimizar la toma de decisiones en las fases de su ciclo de vida, también nos permite evaluar de forma cuantitativa todos los costos económicos durante la vida útil del activo los cuales se pueden expresar en unidades monetarias (dólares/año, euros/año, pesos/año).

Por lo que el proceso de mantenimiento y el impacto de sus estrategias proporciona características de confiabilidad al activo y a las características del costo del ciclo de vida de los activos contribuyendo directamente a la gestión de activos. Estas contribuciones se ven apoyadas en el trabajo de grado **“desarrollo de una metodología para correlacionar técnicas de análisis en confiabilidad con los ciclos de vida y la gestión de activos”** donde se menciona que actualmente el enfoque que se tenía de mantenimiento ha cambiado, debido a los estándares de calidad que se han impuesto en la industria, ya que cada día se debe garantizar un óptimo funcionamiento de los activos para lograr una continua producción. Debido a esto surge la necesidad de llevar el mantenimiento a un enfoque diferente, pues anteriormente se reducía al mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo.

El enfoque de mantenimiento basado en confiabilidad logra formular un plan de acción de tareas bajo condición, inspección, mantenimiento predictivo y mantenimiento autónomo con el fin de disminuir costos de manutención por mantenimiento reactivo y que se adapte al punto del ciclo de vida en el cual se está desempeñando la máquina y de esta manera, se pueden tomar decisiones para reformular el mantenimiento o la disposición final de los activos, concluyendo periodos de obsolescencia de vida útil, la conveniencia de reponer los activos y el aprovechamiento del valor remanente para la adquisición de nuevos activos, todo esto se determina a partir del estudio y análisis del costo de ciclo de vida (Valderrama & Barrantes, 2016).

Por consiguiente, la Confiabilidad integral de los activos, fundamenta la integración de conocimientos, disciplinas, métodos, procedimientos y herramientas para optimizar el impacto

total de costos, desempeño y exposición al riesgo en la vida del negocio, permitiendo homologar metodologías de las diferentes etapas de la confiabilidad operacional, mejorar el proceso de gestión de mantenimiento, realizar análisis probabilístico de riesgo mejorando la eficiencia en las operaciones de los procesos productivos (Onelia, Zaragoza, Acosta, 2013)

Por lo tanto y como resultado de la confiabilidad debemos pensar que es un concepto con un entramado de recursos y herramientas que permiten determinarla, predecir y mejorarla. Es importante hacer notar, que se requiere cuantificar la confiabilidad del activo para poder evaluar si es necesario invertir en mejorarla o en mantenerla. No es posible el tratamiento integral de la confiabilidad de los activos si no se estudian las relaciones entre las diferentes variables que influyen en la confiabilidad intrínseca, la confiabilidad en el contexto real de operación, la confiabilidad humana y la gestión de la confiabilidad. Los costos de la confiabilidad se ven justificados porque reducen los costos por cada falla y defectos crónicos que son, en una gran cantidad de casos muy superiores a los costos de evaluación y prevención necesarios para reducir o eliminar las consecuencias de los primeros mencionados.

La evidencia abrumadora de la necesidad de una elevada confiabilidad en las funciones de los activos para producir y poder hablar de competitividad empresarial, es hoy un hecho innegable. Por ello, están dadas importantes condiciones objetivas para desterrar las viejas ideas y transitar hacia otros paradigmas. La confiabilidad debe incorporarse dentro de cada diseño y cada proceso. No se puede crear mediante inspecciones, ni tampoco a través de pasivas declaraciones y buenos deseos. Si verdaderamente deseamos y necesitamos eficacia y eficiencia en el mantenimiento, entonces la confiabilidad integral de los activos será parte implícita de la estrategia que se trate y se refleja explícitamente en las tecnologías que se utilicen.

Estos conceptos de confiabilidad y mantenimiento sumados al ciclo de vida del activo dan aportes a la generación de valor que es el objetivo fundamental de la gestión de activos, llevando un equilibrio entre el riesgo, rendimiento y el costo.

También es necesario conocer la contribución del valor financiero en el ciclo de vida de los activos. Esta etapa es en donde se administran y se reportan los costos, las fuentes de financiación, disponibilidad de fondos, presupuestos, y el retorno de la inversión para los activos. Es aquí donde hay una participación de todas las fases del ciclo de vida del activo, logrando asegurar el

---

cumplimiento de los objetivos y estrategias planteadas. Cada una de las fases afecta el rendimiento financiero y los requisitos de planificación.

Uno de los modelos financieros que se utilizan, es el costo de ciclo de vida de un activo - Life Cycle Costing (LCC) basado en la norma española UNE-EN 60300-3-3, el cual permite determinar y analizar el momento óptimo, en términos económicos, para realizar el reemplazo del activo o unidad constructiva, después de considerar los diferentes costos en los que se incurre durante su ciclo de vida: costos de capital (CAPEX), costos de operación (OPEX) y costos de eliminación (Pérez, 2013).

Cabe resaltar entonces, que los costos de ciclo de vida permiten establecer cuál es la vida remanente del activo desde el punto de vista técnico y económico, indicando el momento oportuno para el reemplazo de equipos y comparando diferentes opciones de disposición final. En este sentido se toma en consideración los costos totales de vida de los activos incluyendo el manejo del riesgo en términos financieros.

Hablando puntualmente de los costos desde la confiabilidad y el ciclo de vida en las etapas de producción, uso, apoyo, se abordan mediante la recogida y el análisis de datos, y una función de evaluación de los mismos. Se identifican los determinantes de costos elevados, se definen las relaciones causa-efecto, y se obtiene y utiliza una información valiosa a efectos de la mejora del producto, mediante un nuevo diseño o estudio de ingeniería. El objetivo es hacer estimaciones realistas de estos costos como ayuda en la evaluación del diseño. Así lo expresa Fredy Reyes de la Cruz en su informe de experiencia “Determinación del reemplazo de la flota de cargadores frontales komatsu wa-380-6 de la empresa construcción y administración s.a. mediante la aplicación del análisis del costo de ciclo de vida (LCC) y el cálculo de la confiabilidad basada en la distribución de fallas weibull”.

En conclusión, la gestión financiera asegura que los activos en servicio estén inventariados, y sean apropiadamente depreciados o eliminados de los libros cuando sean retirados, además vela por prácticas de mantenimiento preventivo que minimicen costos, para dar manejo prudente a los gastos de mantenimiento y operaciones y así, poder minimizar el impacto de sobrecostos con el cliente.

Además, se concluye que el ciclo de vida de los activos pasa por diferentes etapas, verificación, planeación, diseño, compra, instalación, prueba, operación, mantenimiento y por último su disposición final. En esas etapas, se deben tomar decisiones y consideraciones en diferentes ámbitos para definir la forma óptima que permitirá maximizar el retorno sobre los activos y minimizar el costo de ciclo de vida, así como lograr las adecuadas tasas de retorno sobre inversiones que viabilicen los proyectos a ejecutar en la gestión de activos (Cañaveral & Heredia, 2017).

## 2. Justificación

Hoy día el uso de las técnicas relacionada al Análisis de los Costos del Ciclo de vida ACCV se han incrementado de una manera notable y muchas organizaciones se han acogido con el objetivo de emplear mejor sus recursos (humanos y económicos), generar el mayor valor con sus portafolios de activos de su organización y mantener un equilibrio entre los costos, riesgo y beneficios. El término confiabilidad juega un papel muy importante en los objetivos organizaciones de una compañía, debido que este se encuentra relacionado con la continuidad operacional, esto nos quieren decir que un sistema de producción es confiable cuando es capaz de producir su función de forma segura y eficiente durante todas las etapas de su Ciclo de Vida. Observando esta temática desde otra perspectiva cuando una organización cuenta con un proceso de producción con una gran cantidad de eventos de fallas imprevistos que conllevan a una baja confiabilidad, este escenario provocará en la organización altos costos los cuales se pueden clasificar en (costos indirectos) relacionado con la recuperación de la función del activo y los costos de penalización relacionado al impacto de los procesos de producción (Parra & Crespo, 2019).

Esta monografía tiene como finalidad realizar el análisis del costo del ciclo de vida bajo la metodología (LCC) de una caldera piro-tubular y demostrar el impacto que tiene la confiabilidad en la vida útil del activo, con el propósito de sugerir a la empresa Vopak Barranquilla, las buenas prácticas para la gestión de activos basado en confiabilidad en unos de los activos más importante para el desarrollo del negocio.

### **3.Objetivos**

#### **3.1 Objetivo general**

Estudiar el comportamiento financiero que tiene un activo físico durante su ciclo de vida y su confiabilidad en una empresa de servicios de almacenamiento y depósito de aceites vegetales y lubricantes.

#### **3.2 Objetivos específicos**

Revisar metodologías basadas en confiabilidad enfocadas en la evaluación del desempeño técnico-económico de activos físicos, para analizar su practicidad y beneficio en el desarrollo de estas.

Evaluar los costos asociados al activo en su ciclo de vida por medio de la metodología LCC y su relación con la confiabilidad y el estado real del activo.

Sugerir buenas prácticas para la gestión de activos que aporte valor al activo físico de la empresa de servicios de almacenamiento y depósitos de aceites vegetales y lubricantes basado en la confiabilidad, para la generación de valor en el ciclo de vida del activo.

## **4. Marco Conceptual**

### **4.1 Análisis del ciclo de vida de un Activo**

El análisis del Ciclo de Vida de un activo es un proceso inherente dentro de la gestión de activos. A través de este enfoque se obtiene valor de los activos y se asegura la capacidad de cumplimiento con su propósito en cada una de las etapas de la vida de estos.

Los gestores de activos deben tener en consideración los costos del Ciclo de Vida dentro del proceso de toma de decisiones económicas. Esto implica conocer cómo y cuándo ocurren cada uno de los costos durante cada una de las etapas del Ciclo de Vida del activo o proyecto.

### **4.2 Activo**

De acuerdo con la Norma ISO 55000 (2014) un activo es un ítem, objeto o ente que tiene valor real o potencial para una organización cuyo valor puede ser tangible o intangible, financiero o extra financiero incluyendo la consideración de riesgos y obligaciones.

Por su parte la Norma ISO 15663 (2001), define un activo como un recurso propiedad de una compañía cuyo objetivo principal es el propósito de generar ingresos o incrementar valor.

Teniendo en cuenta lo anterior, podemos definir un activo como aquel elemento que hace parte del contexto organizacional y que tiene un valor real para la organización o que pueden generarlo por medio de su utilización a lo largo de vida útil.

### **4.3 Gestión de activos**

Son las actividades y prácticas coordinadas y sistemáticas a través de las cuales una organización maneja óptima y sustentablemente sus activos y sistemas de activos, su desempeño y sus riesgos asociados a lo largo de sus ciclos de vida con el propósito de lograr su plan estratégico organizacional (ISO,55000).

La implementación efectiva de la gestión de activos requiere de un enfoque disciplinado que habilite a una organización a maximizar el valor y lograr sus objetivos estratégicos a través de la gestión de sus activos durante los ciclos completos de vida. Esto incluye la determinación para adquirir o crear los activos apropiados para operarlos y mantenerlos mejor, y la adopción de opciones óptimas de reemplazo y desincorporación. La implementación va más allá de la aplicación

---

o registro de información en un software o el pasar por ISO 55001 asintiendo con respecto a que se tiene alguno de los requisitos planteados en la norma.

La gestión de activos integra herramientas, métodos, programas y procesos existentes en las compañías, algunos de ellos de la parte técnica o de funciones operativas en su mayoría, y de ahí la confusión que tienen muchos empresarios y gestores de activos, del mantenimiento; análisis de confiabilidad, Mantenimiento Productivo Total (TPM por sus siglas en inglés), el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM por sus siglas en inglés); LA Optimización del Mantenimiento Preventivo (PMO por sus siglas en inglés) y otras herramientas como los RCA, AMEF, procesos de 5Ss, Seis Sigma entre otros. Todos buscan integrar las acciones técnicas con los objetivos organizacionales, traduciendo las actividades en piso a beneficios de toda la organización. Una buena combinación de ellos según la cultura, posibilidades y objetivos pueden ayudar al éxito de la implementación.

#### **4.4 Vida de un Activo**

La Norma ISO 55000 (2014) expresa la vida de un activo como el período desde la creación del activo hasta el fin de la vida del activo. Partiendo de esta premisa se puede definir como el tiempo en que un activo determinado hace parte del contexto de la empresa.

Por otro lado, Rafael Enrique Mora (2014) señala que “la vida útil técnica de un activo se concibe como el periodo de tiempo durante el cual un determinado bien o componente presta el servicio para el cual fue diseñado, manteniendo su integridad estructural sin mostrar manifestaciones de falla o de mal funcionamiento” (p. 19)

La vida de un activo es el lapso comprendido desde la fase de adquisición o creación, hasta su desincorporación, y es en la etapa de operación y mantenimiento (Vida útil técnica) en la cual la organización recibe un beneficio por su utilización; al conjunto de estas etapas se le conoce como Ciclo de Vida.

#### **4.5 Ciclo de Vida**

Es el intervalo de tiempo que comienza con la identificación de la necesidad de un activo y termina con la puesta fuera de servicio del activo o de cualquier responsabilidad asociada. Las principales fases de un ciclo de vida de un activo incluyen la creación/adquisición, el uso, el mantenimiento y la renovación/desincorporación. Para alcanzar a administrar de manera óptima y sostenible los activos físicos es necesario hacer una planeación eficiente desde la creación de la

---

necesidad de este, para este propósito se debe contar un modelo sistemático y organizado que planea cada práctica a seguir desde el momento en que se adquiere hasta su disposición o reemplazo.

Una adecuada gestión de activos permite varios beneficios a la empresa o entidad donde se aplique, como asegurar el retorno de la inversión, optimizar el uso de la capacidad instalada, incrementar su vida útil, optimizar los costos y maximizar el conocimiento de la organización alrededor de sus activos (Cañaverall & Hereida, 2017,12).

Las fases del ciclo de vida del activo son definidas por la empresa y pueden ser en mayor o menor detalle, el reconocimiento de este concepto y de las fases, será de gran utilidad al revisar las acciones que generan más o menos beneficios económicos y que exponen más o menos los activos a riesgos y materialización de ellos. Una de las aplicaciones más frecuentes se da con los análisis del costo del ciclo de vida de los activos y el control sobre el OPEX y el CAPEX. Además, saber que las empresas no necesariamente tendrán dentro de sus activos todas las fases, todo depende de las necesidades de la compañía, lo que sí se debe tener en cuenta es el seguimiento oportuno a cada fase para llevar una buena Gestión de los activos.

## **4.6 Confiabilidad**

La confiabilidad de un sistema o equipo, es la probabilidad de operar durante un periodo de tiempo sin pérdida de su función, dentro de un contexto operacional específico. La confiabilidad operacional implica procesos de mejoramiento continuo, uso de herramientas de diagnóstico, metodologías de análisis y tecnologías de punta, para optimizar la gestión industrial (García,2013,17).

### **4.6.1 La Confiabilidad de activos físicos**

La confiabilidad de un elemento se define como "la frecuencia con la que se producen fallas durante un período de tiempo especificado", la confiabilidad se considera desde distintos puntos de vista, desde ciertos atributos de funcionalidad, componentes del diseño, requisitos operativos, criterios de diseño específicos, entre otros criterios. En resumen, la confiabilidad es la probabilidad de que un dispositivo realice adecuadamente sus funciones previstas a lo largo del tiempo respecto a las actividades que se le han asignado alrededor de su entorno de operación. La confiabilidad se hace esencial para asegurar que los sistemas son capaces de funcionar a los niveles requeridos y especificados de desempeño, y para asegurar que se gastan menos recursos para alcanzar estos

niveles de desempeño, es por esto, que el concepto de confiabilidad es cada vez más importante y determinante dentro de los procesos de una empresa (Cañaveral & Hereida, 2017).

Matemáticamente la confiabilidad se denota como:

$$R(t) = P(T \geq \frac{t}{C_1}, C_2, \dots)$$

T: tiempo de operación o número de ciclos antes de fallar

t: tiempo específico o número de ciclos de diseño

c1, c2: condición de diseño

$$R(t) = P(T \geq t)$$

En su forma más simple se expresa como:

$$A = e^{-\lambda \cdot t} = e^{-\frac{1}{MTTF} \cdot t}$$

Donde:

t = tiempo de la misión (horas, días, semanas, meses, años)

$\lambda$  = tasa de falla,

MTTF =  $1/\lambda$  = tiempo promedio para fallar.

e = base de los logaritmos naturales (2,718281828)

“La confiabilidad está definida como la probabilidad de que un activo opere sin falla por un determinado periodo de tiempo especificado (tiempo de misión) y bajo condiciones previamente establecidas. Lo que lleva a que como valor probabilístico varíe desde 1 o 100% hasta tomar un valor de 0 al ocurrir la falla.” (Orrego, 2016).

La confiabilidad durante en el ciclo de vida de un activo físico implica la capacidad total de la organización (procesos, tecnología, talento), para cumplir su función o el propósito que se

---

espera del activo, dentro de los límites de diseño y bajo un contexto operacional especificado en un tiempo de vida útil determinado.

El fin del análisis de confiabilidad de activos físicos es cambiar la mayor parte de cantidad de actividades reactivas, no programadas y altamente costosas, por acciones proactivas planeadas que dependan de análisis objetivos, situación actual, e historial de equipos, y que permitan un adecuado control de costos (García, 2013,18).

#### **4.7 CAPEX**

La fase denominada CAPEX (Capital Expenditure) corresponde al recurso financiero empleado para adquisición, instalación y comisión de un activo capital (ISO 15663, 2001), para la Norma ISO TS 55010 (2019) son todas las inversiones por adquisiciones o mejoras de activos.

El CAPEX involucra todas las inversiones de capital, previa a la puesta en funcionamiento del activo, incluye las fases de investigación, diseño, compras o aprovisionamiento y construcción.

#### **4.8 OPEX**

La etapa OPEX (Operational Expenditure) involucra todo el recurso monetario utilizado para operación y mantenimiento, incluidos los costos asociados, como la logística y los repuestos (ISO 15663, 2001), la Norma ISO TS 55010 (2019) lo define como todas las inversiones recurrentes requeridas para proporcionar un servicio o producto.

Esta etapa contempla todos los costos asociados al activo para mantener su operación o funcionamiento, incluyendo los costos de desincorporación.

#### **4.9 Costo de Ciclo de Vida (LCC)**

De acuerdo con la Norma UNE-EN 60300-3-3 establece que el cálculo del costo del ciclo de vida de un activo se define como el proceso de análisis económico para determinar el costo total desde de la adquisición hasta la desincorporación de un activo. (Silva & Orrego, 2016) en su libro titulado “Confiabilidad en la práctica” definen que al momento de realizar LCC se debe tener en cuenta: los costos de diseño, instalación, arranque, los costos energéticos, los costos de operación, los costos de mantenimientos, los costos de paradas, los costos de pérdidas productivas y el costo de la disposición final del activo.

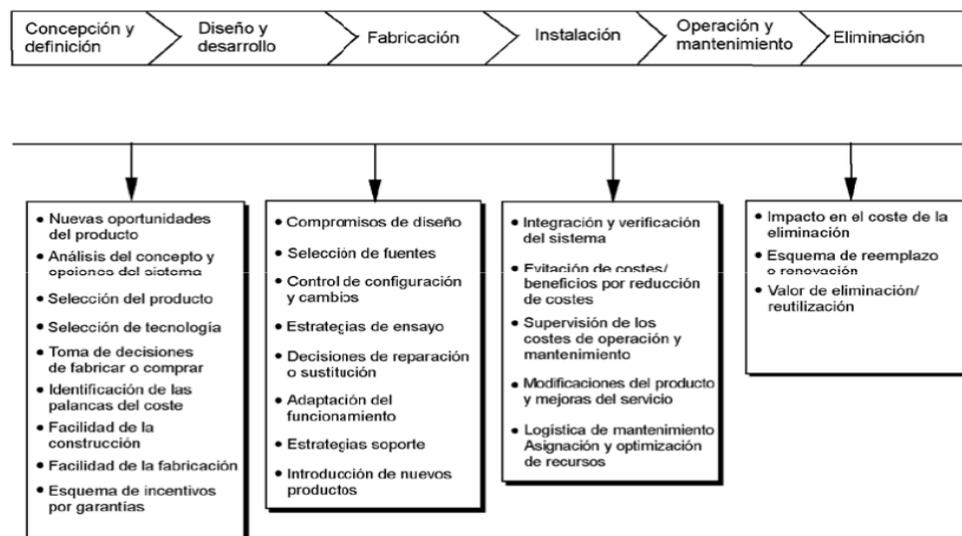
### 4.9.1 Fases del ciclo de vida y sus costos

la Norma UNE-EN 60300-3-3 establece seis fases principales en el ciclo de vida de un producto (Concepción y definición, Diseño y desarrollo, Fabricación, Instalación, Operación y Mantenimiento, Eliminación), cada una de fases anteriormente nombradas deberían seleccionarse de manera apropiadas con el fin de adaptarse a cada análisis en particular. Sin embargo, todos los costos generados en las fases del ciclo de vida de un activo pueden simplificarse en costo de adquisición, costos de propiedad y costos de eliminación.

Igualmente, la Norma UNE-EN 60300-3-3 establece los generadores de costos en cada fase. Como se puede evidenciar en la siguiente figura (2)

**Figura 1**

*Costos en cada fase del Ciclo de Vida de un Producto*



Nota. Ejemplo de las aplicaciones del cálculo del costo del ciclo de vida. Fuente: UNE-EN 60300-3-3

### 4.9.2 Cálculo del costo de ciclo de vida

El Costo de Ciclo de Vida se calcula sumando todos los costos en los cuales se incurre a lo largo de la vida del activo:

**CI:** Costo de Inversión (máquinas, edificios, calles, instalaciones, repuestos herramientas, equipos de mantenimiento, documentos y entrenamiento entre otros)

**CO:** Costo de Operación (personal, energía, materiales e insumos, transporte, entrenamiento del personal y calidad)

**CM:** Costo de Mantenimiento (personal de mantenimiento y los materiales y repuestos, tanto en lo dedicado al proactivo, al correctivo como a los rediseños, además de los costos de entrenamiento de este personal)

**CP:** Costo de Parada (costo de pérdidas debido a mal funcionamiento del activo).

Debido a que este costo se produce a lo largo del tiempo (varios años), para poder calcular el costo total habrá que considerar el valor tiempo del dinero a través de un factor  $N = \frac{1 - (1 + r)^{-n}}{r}$ , donde  $r$ : tasa de interés y  $n$ : número de años.

$$CCV = CI + N(CO + CM + CP)$$

## 5. Metodología

Para llevar a cabo la monografía, se presentan a continuación las fases con las cuales se desea cumplir con los objetivos planteados:

**Fase 1:** En esta primera fase se realizará una revisión de los diferentes estándares, técnicas y normas técnicas que abordan metodologías del cálculo de Costo de Ciclo de Vida de activos físicos y de Confiabilidad.

**Fase 2:** En esta fase se identificará el activo al cual se le realizará el análisis del costo del ciclo de vida por medio de alguna de las metodologías de confiabilidad, apuntando al beneficio generado en los estados financieros de la compañía.

**Fase 3:** Se revisarán las metodologías basadas en confiabilidad enfocada en la evaluación del desempeño técnico-económico de activos físicos que generen valor financiero en las compañías manufactureras.

**Fase 4:** En esta fase se pretende identificar y evaluar los costos financieros que están relacionados con el ciclo de vida de un activo físico y a su vez que tienen relación con la confiabilidad.

**Fase 5:** Se definirán buenas prácticas que benefician la confiabilidad de un activo en su ciclo de vida y cuáles serían las actividades más representativas que se deben tener en cuenta a la hora de mantener la confiabilidad de un activo.

## 6. Desarrollo

### 6.1 Selección del Activo

El activo seleccionado es una caldera Piro-tubular debido que es considera un activo crítico para el negocio, debido que una indisponibilidad de la caldera número (2) de la terminal uno (1) de Barranquilla impacta significativamente en el rendimiento de los activos, generando retrasos e incumplimiento con los clientes. Las quejas del cliente resultan en responsabilidades financieras.

Para seleccionar esta caldera se toma como guía la matriz de criticidad de la compañía, donde se evalúan los diferentes factores de consecuencia que para ellos son importantes a la hora de tomar decisiones con respecto a los activos, en este caso para intervenir o no un activo. Inicialmente se valora el activo en seguridad, riesgo medioambiental, riesgo operacional del negocio y el riesgo con las partes interesadas (clientes) como se puede observar en la **Tabla 1**.

**Tabla 1**

*Matriz de Riesgos terminal Vopak Barranquilla.*

Safety	Environmental Risk	Business Operational Risk	Business Customer Risk	Factor	FAILURE RATE			
					Less frequently than once per 5 years (0.1)	Less frequently than once per 2 years, up to once per 5 years (0.2)	Less frequently than once per year, up to once per 2 years (0.5)	Greater than once per year (1)
					1	2	3	4
Serious near miss	Emission inside the Vopak site. Minor pollution. No external complaints. Possible warning from Authorities.	Less than 4 hours of operational disturbance, less than EUR 5.000 for repair and cleaning costs.	Equipment failure will reduce the level of performance required by a customer. May result in a formal complaint by a customer.	1	1	2	3	4
Personal injury(s) (near miss, first aid).	Single emission above the legal limit, possible external complaints. Permit violation registered by authorities.	Between 4 to 16 hours of operational disturbance, less than EUR 50.000 for repair and cleaning costs.	Equipment failure will cause delays or interruptions, but can be dealt with by appropriate planned actions	2	2	4	6	8
Personal injury(s) with lost work time.	Emissions affect neighbour sites. Emissions above legal limit. Major pollution, some complaints. Permit violation fined by authorities	Between 16 to 48 hours of operational disturbance, less than EUR 250K for repair and cleaning costs.	Equipment failure will cause a delay or non performance to a customer for an extended period of time (> 1 week). Probably results in financial liability.	3	3	6	9	12
Serious injury(s) causing disablement.	Emissions with impact outside the Vopak site, repeated emissions above legal limits. Major actions required to eliminate the effects. Many (> 5) complaints. Permit violation followed by operational restrictions by authorities.	Over 48 hours of operational disturbance, over EUR 250K for repair and cleaning costs.	Equipment failure will have a serious impact on customers business for prolonged period i.e. plant shut down or major losses. May result in the loss of customers.	4	4	8	12	16

Nota: Información tomada de la base de datos matriz de identificación y evaluación de riesgos. Fuente (Vopak)

Al evaluar la caldera dentro de la matriz se identifica al activo como crítico al tener un riesgo en seguridad mayor (lesión grave que ocasiona una discapacidad) con una probabilidad de falla por lo menos una vez cada dos años teniendo así una valoración de 12 dentro de dicha matriz como se observa en la **Tabla 2**.

**Tabla 2***Análisis de Riesgo caldera piro-tubular.*

EQUIPO	Critical asset	Service Critical Equipment	Safety Critical Equipment	Initial Risk Assessment									
				RAM Input					RAM Rating				
				PARA	Environment	Operational	Customer	Failure Rate	Safety	Environment	Operational	Customer	Max Risk
Hidromac, TURBI IST, TK Alimentación Caldera		X		3	1	4	2	3	9	3	12	6	12
Barmesa, BMV8-100-1003, TK Alimentación Caldera		X		3	1	4	2	3	9	3	12	6	12
Caldera No.02 Horizontal - 300 BHP - 150 PSI - 110 440 V	X	X		4	3	3	1	3	12	9	9	3	12
Bomba de agua Caldera # 2 Barmesa - Centrifuga Multietapas Vertical		X		4	1	3	1	3	12	3	9	3	12

Nota: Información tomada de la base datos listados de equipos críticos. Fuente (Vopak)

**6.2 Descripción del activo**

La caldera Piro-Tubular es un recipiente cerrado herméticamente y atravesado por tubos paralelos a su eje, por los cuales pasan los gases de combustión calientes generados por la combustión de la caldera los cuales se canalizan dentro de los tubos. Esta puede estar compuesta por una cámara de combustión, quemadores, sistema de combustión e incluir partes y componentes tales como, paredes de agua, sobre calentador, recolector, economizador, calentador de aire o una combinación entre ellos.

**Figura 2***Caldera Piro-Tubular de 300BHP*

Nota. Caldera piro-Tubular F133A300C-GM. Fuente (Vopak Barranquilla)

En la **Tabla 3** se puede evidenciar las especificaciones técnicas de la caldera Piro-tubular número 2 de la terminal Vopak Barranquilla.

**Tabla 3**

*Especificaciones técnicas Caldera de vapor piro-tubular*

Tipo de equipo	Caldera Piro-Tubular	Superficie de calentamiento	1500 S.Q.F.T
Serial	CC0849	Placa tubo	5/8" 516-70
Caballo de vapor	300BHP	Vaso presión	1/2" A516-70
Tipo de combustible	Gas natural	Ubicación	Terminal 1
Presión máxima	150 psig	Año de construcción	2013

La caldera F133A300C-GM de la empresa Vopak de Colombia cuentan con los siguientes sistemas:

**Sistema de tratamiento y suavizado de agua:** Es un sistema que hace pasar el agua dura a través de una cama de resinas de intercambio iónico, y como resultado a la salida, se obtiene agua con bajo contenido de dureza.

**Figura 3**

*Sistema de tratamiento y suavizado de agua*



Nota. Sistema suavizador. Fuente (Vopak Barranquilla)

**Tanque de retorno de condensado:** Es un tanque que almacena el agua de reposición requerida por la caldera y recolecta los condensados del sistema para que el circuito de vapor se cumpla.

#### Figura 4

*Sistema de retorno condensado*



Nota. Tanque de condensado 1494x1840. Fuente (Vopak)

**Sistema hidroneumático de presión constante:** Los sistemas Hidromáticos sirven para mantener la presión constante en las tuberías de aguas, sin importar la distancia que se encuentren los equipos que demandan agua.

#### Figura 5

*Sistema hidroneumático de presión constante*



Nota. Sistema Hidroneumático de 60 GL. Fuente (Vopak)

Los sistemas Hidroneumáticos se basan en el principio de compresibilidad del aire cuando es sometido a presión. el agua que es suministrada desde una acometida, es retenida en un tanque de almacenamiento, en donde por medio de un sistema de bombeo es impulsada a un recipiente a presión, cuando el fluido entra al recipiente aumenta el nivel de agua y se comprime el aire generando un aumento de la presión, cuando se llega a una presión máxima requerida, se genera una señal que manda a parar la bomba y el tanque queda en la capacidad de abastecer la red y cuando se llega una presión mínima se emite una señal que manda a encender la bomba nuevamente.

**Sistema de modulación de gas y aire:** Sistema de válvulas sincronizadas que permite el ingreso proporcional de gas natural y aire a la caldera según el ciclo para garantizar una combustión adecuada.

### **6.3 Cálculo de confiabilidad de la caldera**

#### ***6.3.1 Registro de datos***

Como se ha venido comentando durante el trabajo monográfico la idea de realizar este estudio es poder correlacionar la confiabilidad, que está directamente involucrado con el desempeño del activo y los costos durante el ciclo de vida del mismo, por esta razón inicialmente para este trabajo lo que se busca es encontrar el comportamiento de las fallas durante el tiempo en que la caldera ha estado en labor, y posteriormente realizar un modelo que servirá en la identificación de la confiabilidad que ha tenido el activo en dicho tiempo y así hacer una proyección en el resto de los años de su ciclo de vida.

Para este primer análisis se registran en orden de aparición, los eventos en los cuales el activo ha presentado fallas en su funcionamiento desde el año 2018 hasta el presente año 2022 y que sirve para calcular los tiempos hasta la falla (TTF) dado en días, además de revisar cuantas fallas ha tenido por años, como se puede observar en la **Tabla 4**, donde por color se presentan año a año estas fallas y su orden de aparición.

**Tabla 4**

*Datos de fallas de la caldera y TTF.*

FECHA	EVENTO	TIEMPO HASTA LA FALLA (TTF)	ORDEN DE APARICION
01/01/2018	Arranque		
28/01/2018	Falla	27	1
07/02/2018	Falla	37	2
15/02/2018	Falla	45	3
28/02/2018	Falla	58	4
10/04/2018	Falla	99	5
26/04/2018	Falla	115	6
16/05/2018	Falla	135	7
12/01/2019	Falla	376	8
10/05/2019	Falla	494	9
17/08/2019	Falla	593	10
07/01/2020	Falla	736	11
26/01/2020	Falla	755	12
13/03/2020	Falla	802	13
20/03/2020	Falla	809	14
30/03/2020	Falla	819	15
06/05/2020	Falla	856	16
06/10/2020	Falla	1009	17
23/01/2021	Falla	1118	18
15/09/2021	Falla	1353	19
05/01/2022	Falla	1465	20
18/01/2022	Falla	1478	21
11/03/2022	Falla	1530	22
21/04/2022	Falla	1571	23
17/05/2022	Falla	1597	24
27/05/2022	Falla	1607	25
29/08/2022	Falla	1701	26

Observando los datos mostrados en la anterior **Tabla 4** se logra identificar que para los años 2018, 2020 y 2022 tienen cada uno de a siete fallas y en los años 2019 y 2021 tienen tres y dos fallas respectivamente. Este dato de siete fallas se tendrá en cuenta a la hora de realizar el pronóstico de los siguientes años, ya que se trabajará con los años donde ha tenido una alta producción y mayores intervenciones de mantenimiento, y que muestran un comportamiento más crítico.

**Tabla 5**

*Cálculo de variables Ln de TTF y rango medio lineal.*

Activo	TTF	Orden (i)	Rango Medio F(i)	Ln de TTF (X)	Rango Medio Lineal (Y)
CALDERA 300BHP	27	1	0,037037037	3,295836866	-3,277026048
CALDERA 300BHP	37	2	0,074074074	3,610917913	-2,564455944
CALDERA 300BHP	45	3	0,111111111	3,80666249	-2,138911028
CALDERA 300BHP	58	4	0,148148148	4,060443011	-1,830442191
CALDERA 300BHP	99	5	0,185185185	4,59511985	-1,585748668
CALDERA 300BHP	115	6	0,222222222	4,744932128	-1,381050422
CALDERA 300BHP	135	7	0,259259259	4,905274778	-1,203624224
CALDERA 300BHP	376	8	0,296296296	5,929589143	-1,045836117
CALDERA 300BHP	494	9	0,333333333	6,202535517	-0,902720456
CALDERA 300BHP	593	10	0,37037037	6,385194399	-0,770841683
CALDERA 300BHP	736	11	0,407407407	6,601230119	-0,647699465
CALDERA 300BHP	755	12	0,444444444	6,626717749	-0,531391212
CALDERA 300BHP	802	13	0,481481481	6,687108608	-0,420406878
CALDERA 300BHP	809	14	0,518518519	6,695798917	-0,313495718
CALDERA 300BHP	819	15	0,555555556	6,708084084	-0,209573275
CALDERA 300BHP	856	16	0,592592593	6,752270376	-0,107650254
CALDERA 300BHP	1009	17	0,62962963	6,91671502	-0,006771099
CALDERA 300BHP	1118	18	0,666666667	7,019296654	0,094047828
CALDERA 300BHP	1353	19	0,703703704	7,210079628	0,195891833
CALDERA 300BHP	1465	20	0,740740741	7,289610521	0,300050307
CALDERA 300BHP	1478	21	0,777777778	7,298445102	0,408179685
CALDERA 300BHP	1530	22	0,814814815	7,333023014	0,522595459
CALDERA 300BHP	1571	23	0,851851852	7,359467638	0,646863687
CALDERA 300BHP	1597	24	0,888888889	7,375882148	0,787195008
CALDERA 300BHP	1607	25	0,925925926	7,382124366	0,956545405
CALDERA 300BHP	1701	26	0,962962963	7,438971592	1,192660116

Nota. Modelo de confiabilidad de Weibull tomado del curso de confiabilidad en la práctica. Fuente: Orrego

Donde,

- Activo: código del activo analizado.
- TTF: tiempo acumulado hasta la falla del Activo analizado (Datos)/ fecha último evento – fecha primer evento.
- Orden n: Ordenamiento de aparición del suceso.
- Rango medio:

$$F(i) = \frac{i - 0,3}{n + 0,4}, \text{ para muestras pequeñas.}$$

$$F(i) = \frac{i}{n + 1}, \text{ para muestras grandes.}$$

**Nota:** Para el caso de este trabajo se utiliza la fórmula F(i) de las muestras grandes.

- Ln de TTF(x): Logaritmo natural del TTF.
- Rango medio lineal(y): Logaritmo neperiano del rango medio lineal.

**Tabla 6**

*Beta y Eta para distribución de Weibull.*

<b>Intercepto</b>	-6,715448133
<b>Pendiente</b>	1,138104881
<b>Beta</b>	1,138104881
<b>Eta</b>	365,2393777

Cuando se realiza un análisis de las distribuciones, el factor de forma beta ( $\beta$ ) muestra la pendiente de la gráfica e indica a qué tipo de distribución de probabilidad se aproxima teniendo como resultado las cuatro siguientes reglas:

- $\beta < 1$  Indica mortalidad infantil.
- $\beta = 1$  Indica que es una falla aleatoria.
- $1 < \beta < 4$  Indica que inician las fallas por agotamiento.
- $\beta > 4$  Indica un rápido agotamiento hasta la falla.

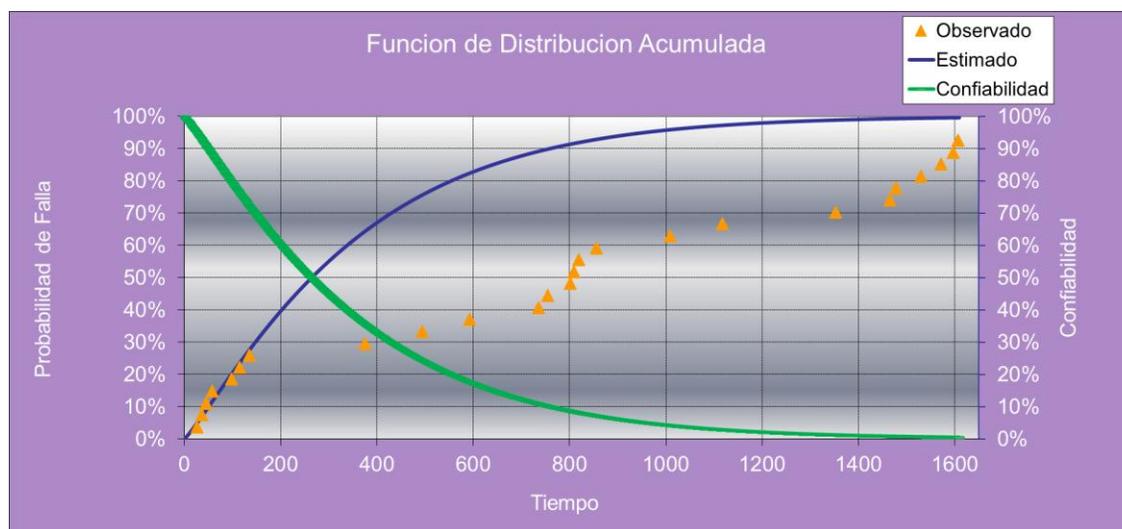
Para el caso puntual del activo que se analiza (Caldera 300BHP) el factor beta indica que las fallas inician por agotamiento de los elementos de dicho activo y que es están dentro de un funcionamiento normal de lo que se requiere de este.

### **6.3.2 Distribución Weibull**

Se realiza el modelamiento de los datos por medio de la distribución Weibull desde la herramienta ofimática Excel, donde se observa la probabilidad de falla estimada y su inverso que es la confiabilidad para la caldera y el comportamiento de la probabilidad de falla real del activo que ha tenido durante el tiempo, así como se puede ver en la **Figura 6** y en la **Tabla 7**.

**Figura 6**

*Probabilidad de falla en el tiempo (estimado y observado) y confiabilidad.*



Con los datos calculados por la distribución de Weibull se hace una aproximación de la confiabilidad que la caldera tuvo, tiene y tendrá en el ciclo de vida del activo, y se puede analizar teniendo en cuenta la aparición de las fallas como se menciona anteriormente en el literal 6.3.1 de este presente documento.

El comportamiento inicial de los datos en la probabilidad de falla es similar a los datos arrojados por la distribución de Weibull, pero a medida que el tiempo pasa los datos se van alejando del modelo y al final vuelven a converger mostrando que es solo un modelo de aproximación pero que sirve para la toma de decisiones, ya que el ideal para la compañía es manejar una confiabilidad superior al 60% teniendo en cuenta que tiene un equipo redundante (caldera en stand-by).

**Tabla 7**

*Distribución de Weibull*

Datos Para Dibujar Curva Weibull				
Orden de la Falla	Probabilidad de Falla	% de probabilidad de falla	Confiabilidad	% de confiabilidad
1	0,001211309	0,00%	0,998788691	100%
2	0,002664051	0,00%	0,997335949	100%
3	0,004222925	0,00%	0,995777075	100%
4	0,005853978	1,00%	0,994146022	99%
5	0,007540092	1,00%	0,992459908	99%

6	0,009270747	1,00%	0,990729253	99%
7	0,011038753	1,00%	0,988961247	99%
8	0,012838849	1,00%	0,987161151	99%
9	0,014667005	1,00%	0,985332995	99%
10	0,016520021	2,00%	0,983479979	98%
11	0,018395288	2,00%	0,981604712	98%
12	0,020290634	2,00%	0,979709366	98%
13	0,022204219	2,00%	0,977795781	98%
14	0,024134463	2,00%	0,975865537	98%
15	0,02607999	3,00%	0,97392001	97%
16	0,028039592	3,00%	0,971960408	97%
17	0,030012197	3,00%	0,969987803	97%
18	0,03199685	3,00%	0,96800315	97%
19	0,033992687	3,00%	0,966007313	97%
20	0,035998931	4,00%	0,964001069	96%
21	0,038014871	4,00%	0,961985129	96%
22	0,04003986	4,00%	0,95996014	96%
23	0,042073302	4,00%	0,957926698	96%
24	0,044114648	4,00%	0,955885352	96%
25	0,04616339	5,00%	0,95383661	95%
26	0,048219056	5,00%	0,951780944	95%
27	0,050281207	5,00%	0,949718793	95%
28	0,052349433	5,00%	0,947650567	95%
29	0,05442335	5,00%	0,94557665	95%
30	0,056502597	6,00%	0,943497403	94%
31	0,058586836	6,00%	0,941413164	94%
32	0,060675747	6,00%	0,939324253	94%
33	0,06276903	6,00%	0,93723097	94%
34	0,064866398	6,00%	0,935133602	94%
35	0,066967582	7,00%	0,933032418	93%
36	0,069072324	7,00%	0,930927676	93%
37	0,071180383	7,00%	0,928819617	93%
38	0,073291525	7,00%	0,926708475	93%
39	0,075405529	8,00%	0,924594471	92%
40	0,077522186	8,00%	0,922477814	92%
41	0,079641293	8,00%	0,920358707	92%
42	0,081762658	8,00%	0,918237342	92%
43	0,083886097	8,00%	0,916113903	92%
44	0,086011434	9,00%	0,913988566	91%
45	0,088138498	9,00%	0,911861502	91%
46	0,090267128	9,00%	0,909732872	91%
47	0,092397167	9,00%	0,907602833	91%
48	0,094528465	9,00%	0,905471535	91%
49	0,096660878	10,00%	0,903339122	90%
50	0,098794268	10,00%	0,901205732	90%
51	0,100928499	10,00%	0,899071501	90%
52	0,103063442	10,00%	0,896936558	90%
53	0,105198974	11,00%	0,894801026	89%
54	0,107334973	11,00%	0,892665027	89%

55	0,109471325	11,00%	0,890528675	89%
56	0,111607915	11,00%	0,888392085	89%
57	0,113744636	11,00%	0,886255364	89%
58	0,115881383	12,00%	0,884118617	88%
59	0,118018054	12,00%	0,881981946	88%
60	0,120154551	12,00%	0,879845449	88%

Se muestra un resumen del comportamiento de la confiabilidad de la caldera año tras año **Tabla 8**, cuyos datos serán los que servirán para relacionarlos con los costos del mismo activo y que son objeto del presente trabajo. Se puede observar que la confiabilidad aquí mostrada va decreciendo y por ende aumenta la probabilidad de falla, un claro ejemplo del deterioro normal de los componentes de la caldera a pesar de tener mantenimientos preventivos.

**Tabla 8**

*Confiabilidad 2018-2026*

	AÑO								
	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
<b>R(t)</b>	99%	98%	97%	97%	95%	94%	92%	91%	89%

## 6.4 Estructura de costos del activo

### 6.4.1 CAPEX (Adquisición del activo)

Muchas organizaciones al momento de adquirir un activo, los costos de adquisición es el criterio principal para seleccionar equipos o sistemas, pero este sencillo criterio es fácil de utilizar, pero a menudo da lugar a malas decisiones financieras a largo plazo, impactando significativamente en la fase de operación y mantenimiento. (Barringer, 1997) nos dice que los costos de adquisición de un activo son solo una parte de la historia y el mantenimiento de los activos cuenta el resto de la historia ya que los costos de las fallas de los equipos suelen ser mucho mayores que los costos de adquisición.

En el año 2013 Vopak Barranquilla adquirió la caldera de 300BHP modelo F133A300C-GM por la empresa de la caldera continental LTDA, la cual es una de las compañías pioneras y

líderes de Colombia en la fabricación de vapor, agua caliente y equipos complementarios. A continuación, en la **Tabla 9** se relacionan los costos en la etapa de adquisición del activo.

**Tabla 9**

*Costo de adquisición Caldera Piro-tubular Continental*

ITEMS	unidad	Cantidad	Precio
Subministro de Caldera Piro-tubular de 300BHP	und	1	\$ 186,900,700.00
Transporte con entrega terminal Vopak Barranquilla	und	1	\$ 10,950,000.00
Instalación y puesta en marcha	und	1	\$ 10,022,000.00
Asesoría técnica, instrucciones para la interconexión y montaje y puesta en marcha	días	1	\$ 4,950,000.00
<b>Valor total de la oferta</b>			<b>\$ 212,822,700</b>

Nota. Datos relacionados a los costos de adquisición de la caldera 300BHP en el año 2013. Fuente (Vopak)

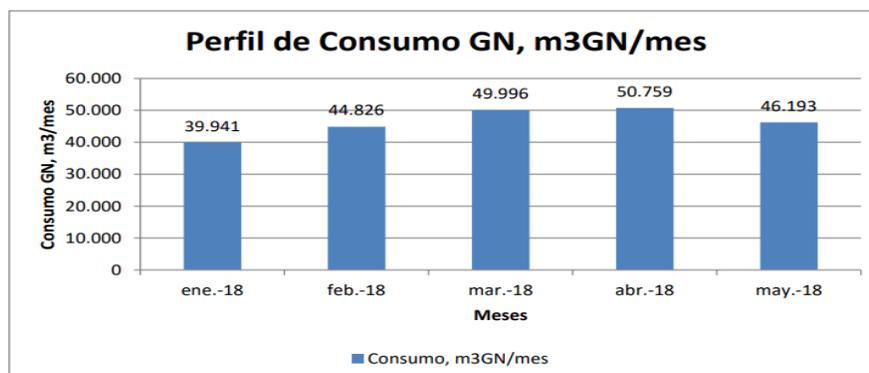
#### **6.4.2 Costos de operación**

Vopak Barranquilla en su proceso productivo utiliza como energía primaria la Energía eléctrica y gas natural y como energías secundarias vapor y aire comprimido. En cuanto el gas natural es suministrado a la planta mediante una subestación al cual opera a una presión de 20 psig en el punto de uso de los equipos consumidores de una caldera de 150BHP y una caldera 300BHP empleadas para la generación de vapor a una presión de aproximadamente de 6 bar. El régimen de trabajo de los equipos generadores de valor es intermitente cuando uno de estos se encuentra en operación el otro es un backup.

De acuerdo al estudio realizado por la empresa Energía eficiente E2 “caracterización y diagnóstico energético de la planta industrial Vopak” el perfil de consumo de la caldera tiene un promedio de consumo de gas natural 46.343 m<sup>3</sup> GN/mes en el periodo de enero a mayo, como se puede ilustrar en la **Figura 7**.

## Figura 7

Perfil de consumo de gas natural año 2018.



Nota. Estudio de caracterización y diagnóstico energético. Fuente (Vopak)

En cuanto al consumo del gas natural, el principal consumidor del gas natural en la terminal de Vopak Barranquilla es la caldera de 300BHP, la cual consume 267.2 m3GN/h y produce vapor para el calentamiento de los diferentes productos en custodia cuando es requerido para operaciones de trasegado de producto. A continuación, en la **Tabla 10** se muestran los costos operativos desde el año 2019 relacionados al consumo de gas natural hasta el año 2022.

## Tabla 10

Costos relacionado al consumo de GN de la caldera F133A300C-GM del año 2019.

Date	Gas Consumption [m <sup>3</sup> ]	Tarifa Gas (\$/m <sup>3</sup> )	Natural Gas Cost [\$]-Caldera 2
ene 2019	26,756	1,009	\$ 27,009,590
feb 2019	24,560	1,149	\$ 28,228,042
mar 2019	32,945	1,076	\$ 35,443,289
abr 2019	58,230	999	\$ 58,194,697
may 2019	5,810	1,416	\$ 8,229,002
jun 2019	24,875	1,147	\$ 28,531,409
jul 2019	7,834	1,403	\$ 10,988,029
ago 2019	9,274	1,578	\$ 14,639,421
sep 2019	18,140	1,286	\$ 23,324,279
oct 2019	8,936	1,647	\$ 14,718,859
nov 2019	14,766	1,154	\$ 17,041,179
dic 2019	1,450	3,554	\$ 5,155,246
<b>Total</b>			<b>\$ 271,503,040</b>

**Tabla 11**

*Costos relacionado al consumo de GN de la caldera F133A300C-GM del año 2020.*

Date	Gas Consumption BAQ1 [m <sup>3</sup> ]	Tarifa Gas BAQ 1 (\$/m <sup>3</sup> )	Natural Gas Cost [\$\$\$]-Caldera 2
ene 2020	10,036	1,248	\$ 12,527,225
feb 2020	28,233	1,135	\$ 32,044,400
mar 2020	76,381	1,219	\$ 93,091,114
abr 2020	53,713	1,173	\$ 62,996,154
may 2020	46,249	1,127	\$ 52,127,800
jun 2020	52,788	1,163	\$ 61,383,639
jul 2020	16,356	1,185	\$ 19,387,595
ago 2020	3,999	1,336	\$ 5,343,007
sep 2020	3,295	1,116	\$ 3,676,710
oct 2020	7,308	1,277	\$ 9,332,193
nov 2020	816	4,205	\$ 3,431,800
dic 2020	2,045	1,806	\$ 3,692,364
<b>Total</b>			<b>\$ 359,033,999</b>

Nota. Información tomada de base de datos ahorro energético. fuente (Vopak)

**Tabla 12**

*Costos relacionado al consumo de GN de la caldera F133A300C-GM del año 2021.*

Date	Gas Consumption BAQ1 [m <sup>3</sup> ]	Tarifa Gas BAQ 1 (\$/m <sup>3</sup> )	Natural Gas Cost [\$\$\$]-Caldera 2
ene 2021	18,194	1,102	\$ 20,056,578
feb 2021	14,927	1,212	\$ 18,086,081
mar 2021	1,037	2,950	\$ 3,058,773
abr 2021	10,255	1,111	\$ 11,390,913
may 2021	2,958	1,207	\$ 3,571,304
jun 2021	6,197	1,133	\$ 7,023,529
jul 2021	5,412	1,352	\$ 7,316,258
ago 2021	8,557	1,129	\$ 9,661,980
sep 2021	8,338	1,174	\$ 9,787,054
oct 2021	16,988	1,124	\$ 19,091,274
nov 2021	21,604	1,117	\$ 24,134,863
dic 2021	20,444	1,900	\$ 38,843,980
<b>Total</b>			<b>\$ 172,022,587</b>

Nota. Información tomada de base de datos ahorro energético. fuente (Vopak)

**Tabla 13**

*Costos relacionado al consumo de GN de la caldera F133A300C-GM del año 2022.*

Date	Gas Consumption BAQ1 [m <sup>3</sup> ]	Tarifa Gas BAQ 1 (\$/m <sup>3</sup> )	Natural Gas Cost [\$]-Caldera 2
ene 2022	25,489	1900	\$ 48,429,290.00
feb 2022	20,145	1900	\$ 38,276,070.00
mar 2022	59,471	1900	\$ 112,994,140.00
abr 2022	38,510	1900	\$ 73,168,620.00
may 2022	51,635	1900	\$ 98,106,120.00
jun 2022	11,033	1900	\$ 20,962,130.00
jul 2022	1,719	1900	\$ 3,265,150.00
ago 2022	1,527	1900	\$ 2,900,730.00
sep 2022	1,238	1900	\$ 2,352,770.00
oct 2022	23,418	1900	\$ 44,495,002.22
nov 2022	23,188	1900	\$ 44,057,859.14
dic 2022	23,526	1900	\$ 44,700,280.15
<b>Total</b>			<b>\$ 533,708,161.51</b>

Nota. Información tomada de base de datos ahorro energético. fuente (Vopak)

La caldera F133A300C-GM cuenta con dos motores de inducción trifásicos con una potencia de 10 HP (7.46Kw). Para llevar el cálculo del consumo energético de los motores se empleó la siguiente ecuación, teniendo en cuanto una eficiencia del 85% por cada motor.

$$P = ((I.V.\sqrt{3}).\cos\beta).085$$

$$P = (13\text{amp} \times 440V.\sqrt{3}) \times \cos\beta \times 0.85$$

$$P = 7.41 \text{ Kw/h}$$

$$P = 7.41 \text{ Kw/h} \times 2\text{und}$$

$$P = 14,82 \text{ Kw/h}$$

En las siguientes **Tabla 14** hasta la **Tabla 17** se relacionan los costos energéticos desde el año 2019 hasta el año 2022.

**Tabla 14***Consumo energético motores de inducción año 2019.*

Date	Electrical Consumption [kWh]	Tarifa	operative hours	Electricity Cost
ene 2019	28,116	448	100	\$ 664,357.55
feb 2019	27,910	452	92	\$ 615,332.79
mar 2019	35,054	450	123	\$ 821,946.24
abr 2019	33,995	364	218	\$ 1,174,724.41
may 2019	22,544	419	22	\$ 134,975.68
jun 2019	30,844	475	93	\$ 655,723.57
jul 2019	32,153	599	29	\$ 260,156.60
ago 2019	33,554	631	35	\$ 324,710.31
sep 2019	24,831	579	68	\$ 582,611.05
oct 2019	22,764	679	33	\$ 336,663.92
nov 2019	24,367	692	55	\$ 567,062.82
dic 2019	18,805	723	5	\$ 58,128.88
<b>Total</b>				<b>\$ 6,196,393.82</b>

Nota. Información tomada de base de datos ahorro energético. fuente (Vopak)

**Tabla 15***Consumo energético motores de inducción año 2020.*

Date	Electrical Consumption [kWh]	Tarifa	operative hours	Electricity Cost
ene 2020	21,637	504	38	\$ 280,560.53
feb 2020	25,565	493	106	\$ 772,384.86
mar 2020	37,437	443	286	\$ 1,876,307.12
abr 2020	39,219	466	201	\$ 1,389,544.04
may 2020	38,165	456	173	\$ 1,169,412.89
jun 2020	30,937	455	198	\$ 1,331,126.43
jul 2020	22,752	479	61	\$ 434,136.25
ago 2020	19,253	480	15	\$ 106,545.86
sep 2020	19,104	493	12	\$ 90,063.55
oct 2020	22,030	486	27	\$ 196,892.28
nov 2020	19,195	464	3	\$ 21,005.41
dic 2020	19,020	514	8	\$ 58,329.74
<b>Total</b>				<b>\$ 7,726,308.94</b>

Nota. Información tomada de base de datos ahorro energético. fuente (Vopak)

**Tabla 16**

*Consumo energético motores de inducción año 2021.*

Date	Electrical Consumption[kWh]	Tarifa	operative hours	Electricity Cost
ene 2021	24,604	487	68	\$ 491,366.63
feb 2021	24,132	475	56	\$ 393,663.68
mar 2021	20,692	505	4	\$ 29,053.89
abr 2021	25,693	510	38	\$ 289,853.62
may 2021	23,071	497	11	\$ 81,516.97
jun 2021	25,580	522	23	\$ 179,570.99
jul 2021	25,017	540	20	\$ 162,194.64
ago 2021	23,841	578	32	\$ 274,202.78
sep 2021	23,668	511	31	\$ 236,328.11
oct 2021	24,140	535	64	\$ 504,077.78
nov 2021	31,914	534	81	\$ 639,866.22
dic 2021	24,071	530	77	\$ 600,976.85
<b>Total</b>				<b>\$ 3,882,672.17</b>

Nota. Información tomada de base de datos ahorro energético. fuente (Vopak)

**Tabla 17**

*Consumo energético motores de inducción año 2022.*

Date	Electrical Consumption [kWh]	Tarifa	Horas operativas	Electricity Cost
ene 2022	28,710	557	95	\$ 787,447.21
feb 2022	26,602	592	75	\$ 661,465.50
mar 2022	41,091	603	223	\$ 1,988,984.42
abr 2022	32,605	649	144	\$ 1,386,205.79
may 2022	29,405	713	193	\$ 2,041,943.77
jun 2022	22,445	677	41	\$ 414,268.80
jul 2022	17,935	677	6	\$ 64,528.26
ago 2022	18,364	681	6	\$ 57,665.04
sep 2022	19,287	677	5	\$ 46,497.15
oct 2022	19,287	677	80	\$ 802,651.20
nov 2022	19,287	677	110	\$ 1,103,645.40
dic 2022	19,287	677	120	\$ 1,203,976.80
<b>Total</b>				<b>\$ 10,559,279.33</b>

Nota. Información tomada de base de datos ahorro energético. fuente (Vopak)

Consumo de agua:

$$300 \text{ BHP} * 32,4 = 9720 \frac{\text{lbv}}{\text{h}}$$

$$\therefore 9720 \frac{\text{lbv}}{\text{h}} * \frac{1 \text{ kgv}}{2,2 \text{ lbv}} = 4418 \frac{\text{kgv}}{\text{h}}$$

$$\therefore \frac{4418 \frac{\text{kgv}}{\text{h}}}{1000} \approx 4,4 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Se calcula el consumo del agua teórico que tiene la caldera por hora y se realiza operaciones matemáticas año a año basado en las horas de operación para conocer el consumo que la caldera ha tenido. En las **Tabla 18** hasta la **Tabla 21** se relacionan los costos relacionados al consumo de agua del año 2019 hasta el año 2022.

**Tabla 18**

*Consumo de agua 2019.*

Date	Tarifa \$/m3	operative hours	kw/mont	Water cost
ene-19	\$3,231.92	100	441	\$1,423,964.11
feb-19	\$3,250.39	92	404	\$1,314,531.63
mar-19	\$3,239.79	123	543	\$1,757,600.11
abr-19	\$3,249.82	218	959	\$3,116,153.00
may-19	\$3,286.04	22	96	\$314,387.74
jun-19	\$3,389.34	93	410	\$1,388,306.26
jul-19	\$3,563.10	29	129	\$459,674.52
ago-19	\$3,574.21	35	153	\$545,855.80
sep-19	\$3,581.52	68	299	\$1,069,833.20
oct-19	\$3,579.13	33	147	\$526,638.75
nov-19	\$3,572.52	55	243	\$868,656.66
dic-19	\$3,580.78	5	24	\$85,522.79
<b>TOTAL</b>				<b>\$12,871,124.57</b>

Nota. Información tomada de base de datos ahorro energético. fuente (Vopak)

**Tabla 19***Consumo de agua 2020.*

Date	Tarifa \$/m3	operative hours	m3/mont	Water cost
ene-20	\$3,585.08	38	165	\$592,476.72
feb-20	\$3,710.76	106	465	\$1,725,191.65
mar-20	\$3,867.25	286	1258	\$4,864,082.61
abr-20	\$3,865.77	201	884	\$3,419,258.34
may-20	\$3,859.17	173	762	\$2,939,088.36
jun-20	\$3,867.31	198	869	\$3,361,689.41
jul-20	\$3,867.26	61	269	\$1,041,557.70
ago-20	\$3,877.78	15	66	\$255,364.90
sep-20	\$3,867.73	12	54	\$209,852.83
oct-20	\$6,823.13	27	120	\$821,104.69
nov-20	\$4,158.82	3	13	\$55,896.23
dic-20	\$4,165.90	8	34	\$140,266.83
<b>TOTAL</b>				<b>\$19,425,830.25</b>

Nota. Información tomada de base de datos ahorro energético. fuente (Vopak)

**Tabla 20***Consumo de agua 2021.*

Mes	Tarifa \$/m3	operative hours	m3/mont	Water cost
<b>ene-21</b>	\$4,177.21	68	300	\$1,251,528.42
<b>feb-21</b>	\$4,217.13	56	246	\$1,036,572.64
<b>mar-21</b>	\$4,275.40	4	17	\$72,987.10
<b>abr-21</b>	\$4,482.32	38	169	\$756,928.59
<b>may-21</b>	\$4,659.13	11	49	\$226,959.56
<b>jun-21</b>	\$4,671.73	23	102	\$476,740.69
<b>jul-21</b>	\$4,807.77	20	89	\$428,443.37
<b>ago-21</b>	\$5,027.73	32	141	\$708,434.54
<b>sep-21</b>	\$5,111.33	31	137	\$701,831.90
<b>oct-21</b>	\$5,136.42	64	280	\$1,436,840.59
<b>nov-21</b>	\$5,283.00	81	356	\$1,879,459.68
<b>dic-21</b>	\$5,283.23	77	337	\$1,778,632.60
<b>TOTAL</b>				<b>\$10,755,359.68</b>

Nota. Información tomada de base de datos ahorro energético. fuente (Vopak)

**Tabla 21***Consumo de agua 2022.*

Date	Tarifa \$/m3	operative hours	m3/mont	Water cost
ene-22	\$3,831.46	95	420	\$1,608,182.81
feb-22	\$5,501.76	75	332	\$1,825,119.99
mar-22	\$5,501.76	223	979	\$5,387,905.82
abr-22	\$5,501.76	144	634	\$3,488,903.13
may-22	\$5,305.21	193	850	\$4,510,876.43
jun-22	\$5,264.68	41	182	\$956,466.82
jul-22	\$5,501.76	6	28	\$155,692.33
ago-22	\$5,655.60	6	25	\$142,183.32
sep-20	\$5,689.67	5	20	\$116,019.04
oct-22	\$5,689.00	87	383	\$2,177,749.20
nov-22	\$5,689.00	68	299	\$1,702,148.80
dic-22	\$5,689.00	88	387	\$2,202,780.80
<b>TOTAL</b>				<b>\$24,274,028.50</b>

Nota. Información tomada de base de datos ahorro energético. fuente (Vopak)

### 6.4.3 Costos de Mantenimiento

#### 6.4.3.1 Política de Mantenimiento Vopak

Uno de los elementos clave para que Vopak Colombia llegue a ser el más confiable y eficiente proveedor de servicios logísticos para almacenamiento de líquidos es el buen manejo de sus activos, donde la estrategia de mantenimiento debe estar enfocada en los siguientes principios:

- Cumplir con cambios según requisitos legales y de los clientes en temas de salud, seguridad y medio ambiente revisando periódicamente nuestros procesos de mantenimiento.
- Garantizar una ejecución segura de las actividades de mantenimiento usando técnicas efectivas y procedimientos seguros.
- Se requiere que el personal de mantenimiento y los terceros implicados en Vopak sean competentes para realizar las actividades asignadas de manera segura.
- Asegurar un registro completo y actualizado de todos los activos críticos y regulados.
- Asegurar la integridad de los activos necesarios para apoyar la estrategia del negocio.
- Esforzarnos por un óptimo " costo del ciclo de vida " de los activos dentro de los límites de SHE y requerimientos del negocio.

- Asegurar un programa de mantenimiento efectivo (eficaz), que debe incluir todos los activos críticos y regulados (Registro de activos fijos críticos).
- Asegurar una cooperación y comunicación estrecha con el personal operativo y de otro tipo sobre las actividades de mantenimiento.
- Esforzarnos por la mejora continua del sistema de inspección y mantenimiento.

De acuerdo con las políticas de mantenimiento de Vopak Barraquilla, en asegurar la integridad de sus activos para apoyar la estrategia de negocios y optimizar los costos del ciclo de vida. La caldera piro-tubular cuenta con un plan de mantenimiento que busca la conservación del activo, aumentar su vida útil y que el activo cumpla su función requerida para generación de valor. A continuación, se relacionan costos de los mantenimiento correctivos y preventivos en la etapa del Opex.

**Tabla 22**

*Costos por mantenimiento correctivo año 2018*

Mes	Descripción del trabajo	Tipo de mantenimiento	Total
<b>2018</b>			
Enero	Reparación Bomba multietapas	Mantenimiento correctivo	\$ 838,000
Febrero	Revisión válvula magnum 298/762 suavizadora caldera 2	Mantenimiento correctivo	\$ 650,000
Febrero	Cambio de posición separador y filtro	Mantenimiento correctivo	\$ 1,200,000
Febrero	Reparación tubería por fuga interna	Mantenimiento correctivo	\$ 5,780,000
Febrero	Cambio de Swith gas 3-21 WC HONEYWELL RM C6097B1028	Mantenimiento correctivo	\$ 434,000
Abril	Reparación boquilla en fibra TK agua industrial	Mantenimiento correctivo	\$ 465,000
Abril	Instalación 3 puntos de muestreo	Mantenimiento correctivo	\$ 1,440,000
Abril	Reparación 2 tuberías por fuga interna	Mantenimiento correctivo	\$ 1,300,000
Mayo	Instalación boya TK agua caldera #2	Mantenimiento correctivo	\$ 599,800
Mayo	Fuga en sello del manhole	Mantenimiento correctivo	\$ 850,000
Agosto	Suministro e instalación de regular para piloto	Mantenimiento correctivo	\$ 590,000
<b>Total</b>			<b>\$ 14,146,800</b>

Nota. Información tomada de la base datos control del OPEX. Fuente (Vopak)

**Tabla 23***Costos Por mantenimientos preventivos año 2018*

Mes	Descripción del trabajo	Tipo de mantenimiento	Total
<b>2018</b>			
Enero	Mantenimiento tipo B (anual)	Mantenimiento preventivo	\$ 5,914,700
Abril	Mantenimiento tipo A (trimestral)	Mantenimiento preventivo	\$ 725,000
Julio	Mantenimiento tipo A (trimestral)	Mantenimiento preventivo	\$ 725,000
Octubre	Mantenimiento tipo A (trimestral)	Mantenimiento preventivo	\$ 725,000
<b>Total</b>			<b>\$ 8,089,700</b>

Nota. Información tomada de la base datos control del OPEX 2018. Fuente (Vopak)

**Tabla 24***Costos por mantenimiento Correctivo año 2019*

Mes	Descripción del trabajo	Tipo de mantenimiento	Total
<b>2019</b>			
Enero	instalación de regulador de piloto en caldera	Mantenimiento correctivo	\$ 670,000
Mayo	Reparación tubería por fuga interna	Mantenimiento correctivo	\$ 4,557,000
Agosto	falla en arranque post ignición	Mantenimiento correctivo	\$ 1,400,000
Agosto	Suministro de válvula reguladora de presión para gas natural de 2"	Mantenimiento correctivo	\$ 3,365,000
<b>Total</b>			<b>\$ 9,992,000</b>

Nota. Información tomada de la base datos control del OPEX 2019. Fuente (Vopak)

**Tabla 25***Costos por mantenimiento preventivo 2019*

Mes	Descripción del trabajo	Tipo de mantenimiento	Total
<b>2019</b>			
Mayo	Preinspección de caldera	Mantenimiento preventivo	\$ 550,000
Mayo	Preinspección de caldera por falla eléctrica	Mantenimiento preventivo	\$ 550,000
Julio	Mantenimiento tipo A (trimestral)	Mantenimiento preventivo	\$ 2,912,950
Julio	Mantenimiento tipo B (anual)	Mantenimiento preventivo	\$ 12,850,000
<b>Total</b>			<b>\$ 16,862,950</b>

Nota. Información tomada de la base datos control del OPEX 2019. Fuente (Vopak)

**Tabla 26***Costos por mantenimiento Correctivo año 2020*

Mes	Descripción del trabajo	Tipo de mantenimiento	Total
<b>2020</b>			
Enero	Limpieza de tanque de fibra de vidrio y reparación de fuga de agua.	Mantenimiento correctivo	\$ 3,200,357
Enero	Reparación de gorro chino en chimenea	Mantenimiento correctivo	\$ 6,916,000
Febrero	Mtto correctivo trampas de vapor Tk's 113, 114 y 115	Mantenimiento correctivo	\$ 4,410,000
Marzo	Subministro de contactor 440V 32 A bobina 110 V para ventilador	Mantenimiento correctivo	\$ 494,000
Marzo	Revisión de tablero eléctrico por problemas de señal	Mantenimiento correctivo	\$ 573,950
Marzo	suministro e instalación de McDonell	Mantenimiento correctivo	\$ 8,150,000
Abril	Instalación de accesorios en tubería de suministro de agua	Mantenimiento correctivo	\$ 1,999,499
Mayo	Suministro e instalación de bujía y transformador	Mantenimiento correctivo	\$ 1,190,000
Octubre	Revisión diagnóstica de fuga en cuerpo de agua de caldera	Mantenimiento correctivo	\$ 2,200,000
<b>Total</b>			<b>\$ 29,133,806</b>

Nota. Información tomada de la base datos control del OPEX 2020. Fuente (Vopak)

**Tabla 27***Costos por mantenimiento preventivo año 2020*

Mes	Descripción del trabajo	Tipo de mantenimiento	Total
<b>2020</b>			
Febrero	Revisión diagnóstica de caldera No. 2	Mantenimiento preventivo	\$ 1,500,000
Junio	Mantenimiento tipo A (trimestral)	Mantenimiento preventivo	\$ 1,000,000
Agosto	Mantenimiento tipo B (Anual)	Mantenimiento preventivo	\$ 12,850,000
Noviembre	Mantenimiento tipo A (trimestral)	Mantenimiento preventivo	\$ 1,000,000
<b>Total</b>			<b>\$ 16,350,000</b>

Nota. Información tomada de la base datos control del OPEX 2020. Fuente (Vopak)

**Tabla 28***Costos por mantenimiento correctivo año 2021*

Mes	Descripción del trabajo	Tipo de mantenimiento	Total
<b>2021</b>			
Enero	reparación de chimenea	Mantenimiento correctivo	\$ 5,200,000
Enero	Instalación de láminas de techo de caldera	Mantenimiento correctivo	\$ 3,167,887
Enero	Revisión y reparación de válvula Mangum 764	Mantenimiento correctivo	\$ 950,000

Febrero	Servicio de desmontaje y montaje de válvula Magnum 764	Mantenimiento correctivo	\$ 2,624,167
Junio	Suministro Kit de drenaje para válvula Magnum sistema hidrowflow	Mantenimiento correctivo	\$ 175,500
Septiembre	Reparación de handhole y manhole	Mantenimiento correctivo	\$ 675,700
<b>Total</b>			<b>\$ 12,793,254</b>

Nota. Información tomada de la base datos control del OPEX 2021. Fuente (Vopak)

### Tabla 29

#### Costos por mantenimiento preventivo año 2021

Mes	Descripción del trabajo	Tipo de mantenimiento	Total
<b>2021</b>			
<b>Junio</b>	Calibración de válvulas de seguridad	Mantenimiento preventivo	\$ 1,300,000

Nota. Información tomada de la base datos control del OPEX 2021. Fuente (Vopak)

### Tabla 30

#### Costos por mantenimiento correctivo año 2022

Mes	Descripción del trabajo	Tipo de mantenimiento	Total
<b>2022</b>			
Enero	Suministro e instalación de tramo de tubería de agua a Caldera por fuga	Mantenimiento correctivo	\$ 10,430,000
Enero	Mantenimiento correctivo en el sistema de bombeo PS1.953.02	Mantenimiento correctivo	\$ 2,415,000
Marzo	Mantenimiento correctivo sistema de bombeo PS1.953.02	Mantenimiento correctivo	\$ 2,519,000
Abril	Mantenimiento correctivo de manhole de cuerpo	Mantenimiento correctivo	\$ 2,995,000
Mayo	Suministro de Bomba Vertical para suministro de agua en la caldera	Mantenimiento correctivo	\$ 6,557,690
Mayo	Reparación de sensor de nivel de TK de agua de Caldera 2 T1	Mantenimiento correctivo	\$ 1,319,550
Octubre	Reparación de fisuras en dos tubos internos caldera 2	Mantenimiento correctivo	\$ 6,803,200
<b>Total</b>			<b>\$ 33,039,440</b>

Nota. Información tomada de la base datos control del OPEX 2022. Fuente (Vopak)

**Tabla 31**

*Costos por mantenimiento preventivo año 2022*

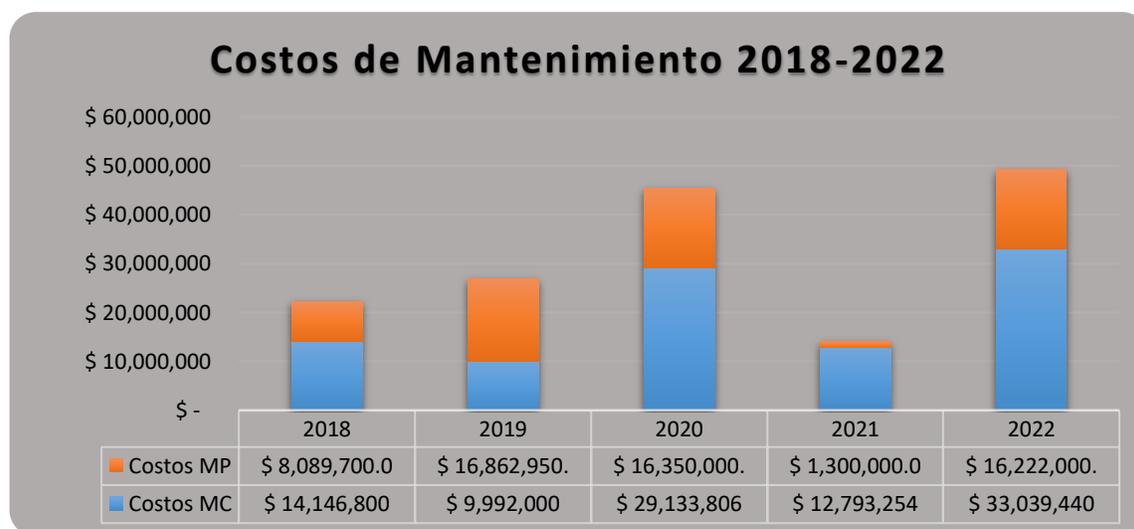
Mes	Descripción del trabajo	Tipo de mantenimiento	Total
<b>2022</b>			
Enero	Mantenimiento tipo A (trimestral)	Mantenimiento preventivo	\$ 1,000,000.00
Marzo	Mantenimiento tipo A (trimestral)	Mantenimiento preventivo	\$ 1,000,000.00
Junio	Servicio de diagnóstico de bomba PS1.953.02	Mantenimiento preventivo	\$ 186,000.00
Junio	Servicio de diagnóstico de bomba PS1.953.02	Mantenimiento preventivo	\$ 186,000.00
Agosto	Mantenimiento tipo A (trimestral)	Mantenimiento preventivo	\$ 1,000,000.00
Septiembre	Mantenimiento tipo B (anual)	Mantenimiento preventivo	\$ 12,850,000.00
<b>Total</b>			<b>\$ 16,222,000.00</b>

Nota. Información tomada de la base datos control del OPEX 2022. Fuente (Vopak)

En la siguiente **Figura 8** Podemos evidenciar que los costos de mayor impacto desde el año 2018 hasta el año 2022 por mantenimientos correctivos.

**Figura 8**

*Costo por mantenimiento preventivos vs costos por mantenimiento correctivo*



Nota. Comparativos de costos Mantenimiento correctivo vs Mantenimiento preventivo

## 6.5 Análisis del costo del ciclo de vida (LCC)

El análisis del costo del ciclo de vida es una metodología para evaluar como varían los costos de un activo en su ciclo de vida útil. En este trabajo monográfico se busca resaltar el impacto

que genera la confiabilidad en los costos totales del ciclo de vida de una caldera piro-tubular de 300BHP con el propósito de analizar y cuantificar los costos. La cuantificación de la confiabilidad de un activo, nos permite predecir las formas de que como un activo puede perder su continuidad operacional debido a fallas imprevistas; y como segundo lugar, analizar y evaluar el impacto económico.

Para el análisis, se parte de una muestra de 48 datos, las 48 mediciones en los 4 años analizados relacionados al consumo de gas natural, agua y energía eléctrica, lo cual permite concluir que la media muestral  $X_b$  sigue una distribución normal. Con la anterior premisa y con un nivel de confianza del 95%, se calcularon los límites inferior y superior para el promedio poblacional ( $\mu$ ) lo que permite concluir que el pronóstico del consumo del gas natural hacia el futuro estará entre  $14.608 \text{ GN m}^3/\text{mes}$  y  $25.000 \text{ GN m}^3/\text{mes}$ , el consumo de energía eléctrica se estima  $823 \text{ kw/mes}$  y  $1403 \text{ kw/mes}$  y con respecto al consumo del agua se esperaría  $239 \text{ m}^3/\text{mes}$  y  $410 \text{ m}^3/\text{mes}$ . cómo se puede ilustrar en las **Tabla 32** hasta la **Tabla 34**.

**Tabla 32**

*Consumo promedio GN 2019-2022.*

<b>Promedio</b>	19,804 $\text{m}^3/\text{mes}$ .
<b>Desviación estándar</b>	18,367
<b>Coefficiente de variación</b>	93%
<b>Error máximo admisible</b>	5196
<b>Límite inferior</b>	14.608 $\text{m}^3/\text{mes}$ .
<b>Límite superior</b>	25.000 $\text{m}^3/\text{mes}$ .

**Tabla 33**

*Consumo promedio de energía 2019-2022.*

<b>Promedio</b>	113 $\text{kw/mes}$ .
<b>Desviación estándar</b>	1025
<b>Coefficiente de variación</b>	92%
<b>Error máximo admisible</b>	290
<b>Límite inferior</b>	823 $\text{kw/mes}$
<b>Límite superior</b>	1403 $\text{kw/mes}$

**Tabla 34**

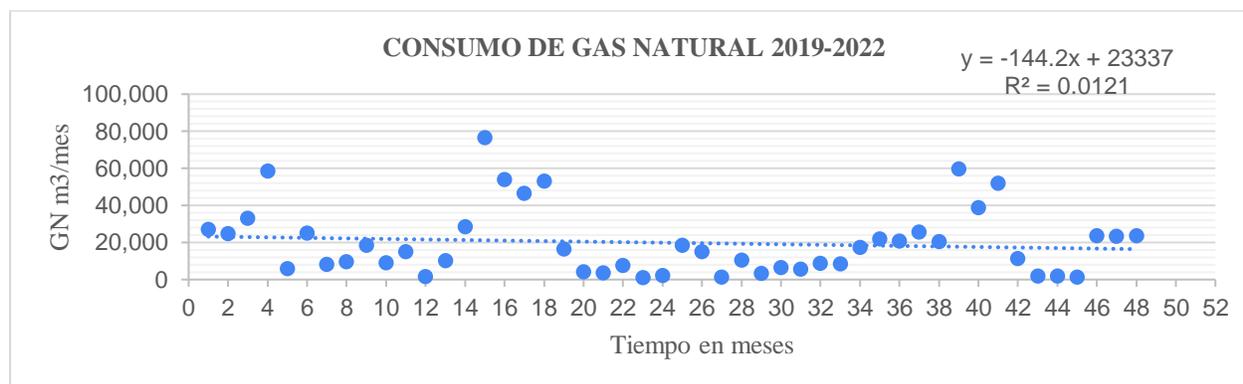
*Consumo promedio de agua 2019-2022.*

<b>Promedio</b>	324 $m^3/mes.$
<b>Desviación estándar</b>	302
<b>Coefficiente de variación</b>	93%
<b>Error máximo admisible</b>	86
<b>Límite inferior</b>	239 $m^3/mes.$
<b>Límite superior</b>	410 $m^3/mes.$

Al presentar una línea de tiempo cada consumo de gas (Eje Y) y cada mes (Eje X), solo se observa que hacia el primer que los primeros dos o tres meses de cada semestre, los consumo se elevan para luego ubicarse por debajo de los 30,000  $m^3/mes.$  Ver **Figura 9**.

**Figura 9**

*Regresión lineal consumo de gas natural*

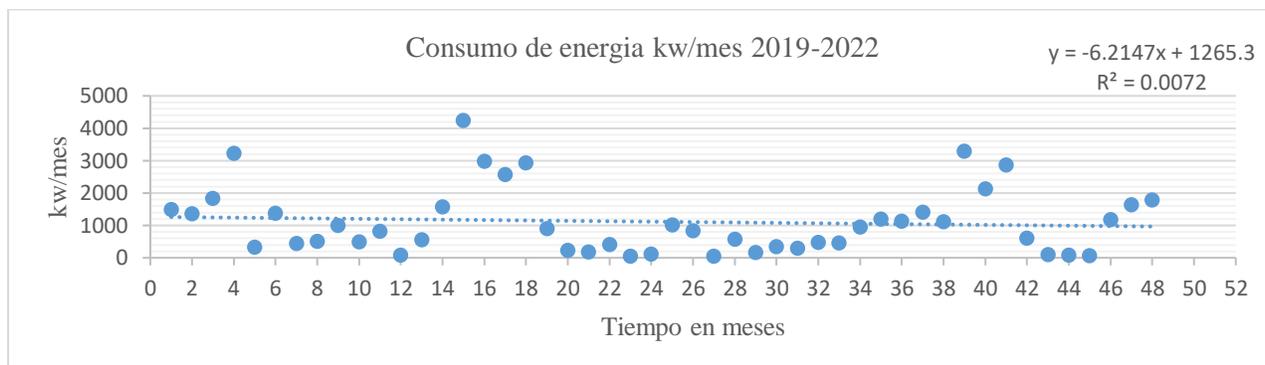


Nota: Comportamiento del GN en los últimos cuatro años de operación de la caldera.

En la **Figura 10** se puede observar que el consumo de energía eléctrica de los motores de inducción de la caldera tiene un pico de consumo más alta entre los primeros dos meses de cada año, para luego ubicarse entre los 30,000  $kw/mes$  y 20,000  $kw/mes$ .

## Figura 10

*Regresión lineal consumo energético motores de inducción.*

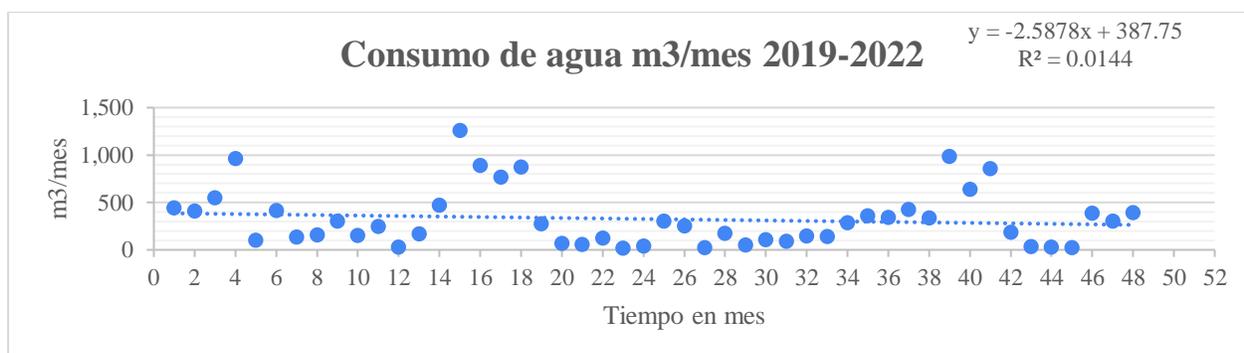


Nota: Comportamiento del kw/mes en los últimos cuatro años de operación de la caldera.

De acuerdo al fabricante de la caldera modelo F133A300C-GM esta consume  $4,4 \text{ m}^3/\text{h}$  de agua y una vez obtenida las horas de operación del activo desde año 2019 hasta el 2022 y el precio de la tarifa por cada año, se realiza el cálculo del consumo de agua por cada mes de operación. En la siguiente **Figura 11** podemos observar el comportamiento del consumo del agua desde el año 2019-2022.

## Figura 11

*Regresión lineal consumo de agua m3/mes 2019-2022.*



Nota: Comportamiento del agua, m3/mes en los últimos cuatro años de operación de la caldera.

Una vez analizado el comportamiento de las variables anteriormente nombras, se procede a realizar las proyecciones de los consumos de gas natural, agua y energía eléctrica hasta el año 2026. Teniendo en cuenta la proyección del IPC, de acuerdo con la última encuesta realizada el 6

de octubre del año 2022 por el Banco de la República las respectivas económicas para los próximos 5 años se estiman de la siguiente manera. Ver **Tabla 35**.

**Tabla 35**

*Expectativa económica 2022-2027.*

RESULTADOS DE LA ENCUESTA MENSUAL DE EXPECTATIVAS ECONOMICAS						
Fecha de realización: del 6 de octubre al 11 de octubre de 2022						
Medidas estadísticas	Variación del IPC					
	% mensual en oct./2022	% Anual en dic/2022	%Anual en oct./2023	% Anual en dic/2023	%Anual en oct./2024	%Anual en oct./2027
<b>TODAS LAS ENTIDADES PARTICIPANTES</b>						
<b>De tendencia:</b>						
Media	0.62%	11.90%	7.38%	6.93%	4.70%	3.54%
Mediana	0.62%	11.88%	7.27%	6.74%	4.50%	3.09%
Moda	0.62%	11.80%	7.30%		4.64%	3.00%
<b>De dispersión</b>						
Desviación estándar	0.13%	0.36%	1.11%	1.12%	1.13%	0.80%
Coeficiente de variación	20.81%	3.01%	15.03%	16.09%	24.09%	22.76%
Mínimo	0.31%	11.10%	5.64%	5.10%	3.08%	3.00%
Máximo	0.85%	12.55%	10.23%	9.83%	7.80%	6.58%
<b>Número de participantes</b>	<b>41</b>	<b>40</b>	<b>39</b>	<b>39</b>	<b>35</b>	<b>32</b>

Nota. Información tomada en la página del Banco de la República de Colombia 2022.

En cuanto a las proyecciones de los mantenimientos preventivo del activo estudiado, la caldera de 300BHP cuenta con plan de mantenimiento establecido por Vopak Maintenance Management Standard, el cual establece dos tipos de mantenimiento, un mantenimiento tipo (A) con una frecuencia trimestral por un valor de \$ 1'000.000 COP + IVA y un mantenimiento tipo (B) con una frecuencia anual por un valor de \$ 12'850.000 COP + IVA. Para realizar las proyecciones de los próximos 5 años se tomó como referencia las expectativas económicas del IPC del Banco de la República de Colombia.

Con respecto a las proyecciones de los mantenimientos correctivo, como primer paso se realiza una recopilación histórica de fallas de los últimos cuatros años, con el objetivo de identificar el número de falla por cada año. Se pudo identificar que el número eventos más alto ocurrido son 7 fallas por año, los cuales ocurrieron en los años 2018-2020-2022. Tomando como referencia el año que el activo genere una mayor indisponibilidad, se realiza la proyección de los costos generado por el mantenimiento correctivo y teniendo en cuenta las expectativas económicas del

Banco de la República de Colombia. En la **Tabla 4** se registran todas las fallas desde año 2018 hasta el año 2022.

En la

**Tabla 36** se presenta todos los costos relacionados a la etapa de operación y mantenimiento del ciclo de vida de la caldera piro-tubular de 300BHP.

**Tabla 36**

*Costos de operación y mantenimiento (Opex equipo actual)*

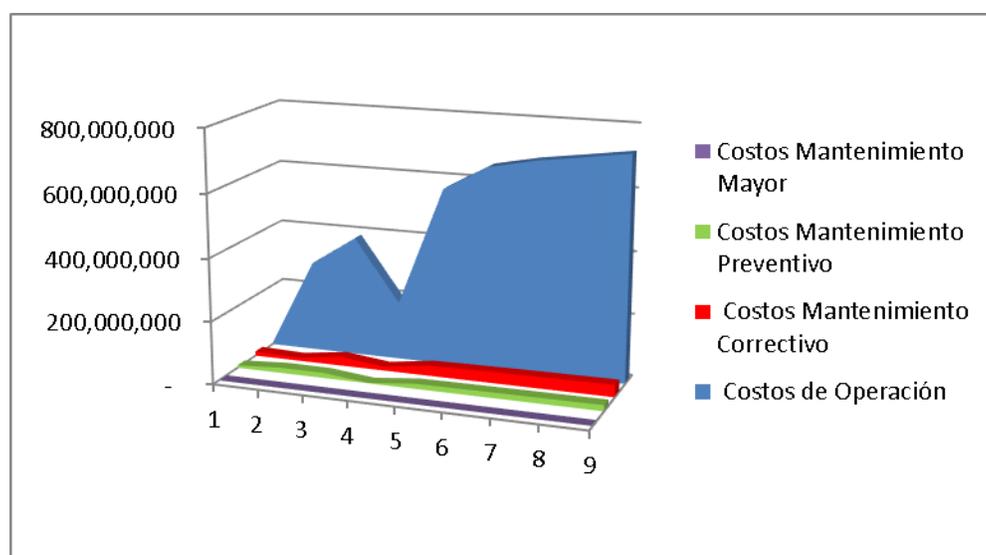
		OPEX Equipo Actual								
		2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Años		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Costos de Operación	Costos para formación inicial del personal	4,950,000	-	-	-	-	-	-	-	-
	Documentación.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Repuestos iniciales.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Equipos.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Instalaciones.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Herramientas especiales.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Costos de mano de obra.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Insumos. (GN y agua)	-	284,374,164	378,463,829	182,777,946	557,982,189	638,294,397	667,017,645	687,028,174	707,639,019
	Energía. ( Luz)	-	6,196,393	7,726,308	3,882,672	10,559,279	12,166,195	12,713,674	13,095,084	13,487,936
	Formación continua.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mejoras.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<b>Costos de Operación</b>	<b>4,950,000</b>	<b>290,570,557</b>	<b>386,190,137</b>	<b>186,660,618</b>	<b>568,541,468</b>	<b>650,460,592</b>	<b>679,731,319</b>	<b>700,123,258</b>	<b>721,126,955</b>	
Costos Mantenimiento Preventivo	Costos de adquisición de equipos de prueba	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Herramientas.	242,691	505,889	490,500	39,000	486,660	519,266	542,633	558,912	575,680
	Repuestos iniciales.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Consumibles.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Formación inicial de personal.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Documentación inicial.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Instalaciones.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Costos de mano de obra.	7,442,524	15,513,914	15,042,000	1,196,000	14,924,240	15,924,164	16,640,751	17,139,974	17,654,173
	Repuestos	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Consumibles.	404,485	843,148	817,500	65,000	811,100	865,444	904,389	931,520	959,466
Formación continua.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Documentación.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Sustitución de piezas con vida limitada (puede ser recurrente o no recurrente).	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<b>Costos Mantenimiento Preventivo</b>	<b>8,089,700</b>	<b>16,862,950</b>	<b>16,350,000</b>	<b>1,300,000</b>	<b>16,222,000</b>	<b>17,308,874</b>	<b>18,087,773</b>	<b>18,630,407</b>	<b>19,189,319</b>	
<b>Horas de Mantenimiento Preventivo</b>	<b>80</b>	<b>80</b>	<b>80</b>	<b>80</b>	<b>80</b>	<b>80</b>	<b>80</b>	<b>80</b>	<b>80</b>	
Costos Mantenimiento Correctivo	Costos de equipos de prueba.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Herramientas.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Repuestos iniciales.	1,414,680	999,200	2,913,381	1,279,325	3,303,944	3,634,338	3,997,772	4,117,705	4,241,237
	Formación inicial del personal.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Documentación inicial.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Instalaciones.	565,872	399,680	1,165,352	511,730	1,321,578	1,410,123	1,473,579	1,517,786	1,563,320
	Costos de mano de obra.	2,829,360	1,998,400	5,826,761	2,558,651	6,607,888	7,050,616	7,367,894	7,588,931	7,816,599
	Repuestos.	8,488,080	5,995,200	17,480,284	7,675,952	19,823,664	21,151,849	22,103,683	22,766,793	23,449,797
	Consumibles.	848,808	599,520	1,748,028	767,595	1,982,366	2,115,185	2,210,368	2,276,679	2,344,980
	Formación continua.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Documentación.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<b>Costos Mantenimiento Correctivo</b>	<b>14,146,800</b>	<b>9,992,000</b>	<b>29,133,806</b>	<b>12,793,254</b>	<b>33,039,440</b>	<b>35,362,113</b>	<b>37,153,296</b>	<b>38,267,895</b>	<b>39,415,932</b>	
<b>Horas de Mantenimiento Correctivo</b>	<b>114</b>	<b>54</b>	<b>134</b>	<b>33</b>	<b>116</b>	<b>116</b>	<b>116</b>	<b>116</b>	<b>116</b>	
Costos de Mantenimiento Mayor	Herramientas.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Formación inicial del personal.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Documentación inicial.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Instalaciones.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Costos de mano de obra.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Repuestos.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Consumibles.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Formación continua.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Documentación.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<b>Costos Mantenimiento Mayor</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	
<b>Costos OPEX Equipo Actual</b>	<b>27,186,500</b>	<b>317,425,507</b>	<b>431,673,943</b>	<b>200,753,872</b>	<b>617,802,908</b>	<b>703,131,579</b>	<b>734,972,389</b>	<b>757,021,560</b>	<b>779,732,206</b>	
<b>Total horas de Mantenimiento</b>	<b>194</b>	<b>134</b>	<b>214</b>	<b>113</b>	<b>196</b>	<b>196</b>	<b>196</b>	<b>196</b>	<b>196</b>	

Nota. Modelo LCC tomado del curso de confiabilidad en la práctica. Fuente: Orrego

En la **Figura 12** se presentan todos los costos relacionados al ciclo de vida de la caldera piro-tubular. Como se puede evidenciar es un activo costoso de operar para la compañía, que en el año cinco (5) correspondiente al año 2022 los costos por operación se encuentran alrededor de los \$ 568'541.468 COP. En cuanto a los costos por mantenimiento correctivo en el año 2022 ha sido el de mayor impacto generando unos costos de \$ 33'039.440 y donde la confiabilidad en los dos últimos años paso de un 97% a un 95% del presente año 2022.

## Figura 12

*Opex actual caldera piro-tubular 300BHP.*



Vopak Barranquilla en su proceso de almacenamiento, calentamiento y trasegado de producto como se ha nombrado anteriormente utiliza vapor generado por la caldera para el proceso de calentamiento en algunos productos (Palmiste, Aceite de palma y sebo animal), con el propósito de disminuir la viscosidad de cada producto para que los sistemas de bombeos pueden desempeñar su función de manera confiable. Bajo esa misma premisa el departamento de finanzas tiene fijada unas tarifas por cada servicio: 1.2 USD/Tm calentado, 4.7 USD/Tm por producto bombeo y 12 USD/Tm por producto almacenado. De acuerdo a la base de datos “PRODUCT STOCK MANAGEMENT” en año 2021 se despecharon 42240 Tm/año (toneladas métricas) entre aceite de palma, sebo animal y palmiste.

Una vez obtenido los costos Opex y Capex del ciclo de vida de la caldera de 300BHP, se procede a realizar el Análisis del Ciclo de Vida bajo la metodología (LCC), teniendo en cuenta los tiempos por mantenimiento correctivo, mantenimiento preventivo y los mantenimientos mayores al momento de mejorar la confiabilidad del activo. En la **Tabla 38** podemos evidenciar los costos por oportunidades de mantenimiento, por ejemplo, en el año 2019 se presentaron 23.3 días sin operación del activo de los cuales, nueve días por mantenimiento programado (preventivo) por un costo de \$ 16'350.000 COP y 14.3 días por mantenimiento no programados (correctivo) por un valor de \$ 29'133.806 COP, generando un costo por oportunidad de mantenimiento de \$ 115'780.669 COP.

En cuanto a la fase de desincorporación de la caldera piro-tubular, se le consulta a la empresa Faismon S.A.S especializada en servicios de fabricación, montajes, desmontaje y demolición de estructuras el costo de desincorporación de una caldera piro-tubular de 300BHP. Una vez obtenida el costo por el servicio prestado para el año 2022, se realiza la proyección del servicio teniendo en cuenta el IPC proyectado por el Banco de la República de Colombia para el año 2026. En la siguiente **Tabla 37** podemos observar los costos relacionados a la desincorporación del activo.

**Tabla 37**

*Costos de desincorporación proyectado al año 2026.*

DESINCORPORACIÓN		
Años		2026
<b>Costos desincorporación</b>	Parada del sistema.	-
	Retirada de servicio ó desmantelamiento.	\$ 20,600,000.00
	Desmontaje y retirada (Grúa y Camabaja)	\$ 11,330,000.00
	Reciclado o eliminación segura.	-
<b>Costos Desincorporación</b>		\$ 31,930,000.00

Nota: Información consultada por la empresa Faismon S.A.S

Tabla 38

## Análisis del Costo del Ciclo de Vida Equipo Actual

## Análisis del Costo del Ciclo de Vida Equipo Actual

Costo Equipo Nuevo	\$ 212,822,700.00
Costos Desincorporación	\$ 31,930,000.00
Tasa de Descuento	4%
Horizonte Económico (Años)	4.00
Tonela métrica bombea/día	257
Tarifa por bombeo	4.7 USD/Tm
Tarifa por calentamiento	1.2 USD/Tm
Ganancia por tonelada métrica bombeada y calentada	5.9 USD/Tm

## Escenario Base (Equipo Actual)

Años	0	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Inversión	\$ 212,822,700.00									
Costos de Mantenimiento Preventivo (\$/AÑO)	\$ 8,089,700.00	\$ 16,862,950.00	\$ 16,350,000.00	\$ 1,300,000.00	\$ 16,222,000.00	\$ 17,308,874.00	\$ 18,087,773.33	\$ 18,630,406.53	\$ 19,189,318.73	\$ 19,189,318.73
Costo de Mantenimiento Correctivo (\$/AÑO)	\$ 14,146,800.00	\$ 9,992,000.00	\$ 29,133,806.00	\$ 12,793,254.00	\$ 33,039,440.00	\$ 35,362,112.63	\$ 37,153,296.31	\$ 38,267,895.20	\$ 39,415,932.06	\$ 39,415,932.06
Costos de Mantenimiento Mayor (\$/AÑO)	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>Costos Mto \$</b>		<b>\$ 22,236,500.00</b>	<b>\$ 26,854,950.00</b>	<b>\$ 45,483,806.00</b>	<b>\$ 14,093,254.00</b>	<b>\$ 49,261,440.00</b>	<b>\$ 52,670,986.63</b>	<b>\$ 55,241,069.64</b>	<b>\$ 56,898,301.73</b>	<b>\$ 58,605,250.78</b>
Días por Mantenimiento Preventivo		9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00
Días por Mantenimiento Correctivo		6.00	14.30	4.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00
Días por Mantenimiento Mayor		-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total Días		15.00	23.30	13.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00
Producto bombeado Tm/día		257.00	257.00	257.00	257.00	257.00	257.00	257.00	257.00	257.00
<b>Costo de Oportunidad por Actividades de Mto \$</b>		<b>73,584,599</b>	<b>115,780,668</b>	<b>70,801,991</b>	<b>127,513,764</b>	<b>153,036,323</b>	<b>159,211,500</b>	<b>159,211,500</b>	<b>159,211,500</b>	<b>159,211,500</b>
<b>Costos de Operación \$</b>		<b>4,950,000.00</b>	<b>290,570,556.50</b>	<b>386,190,137.10</b>	<b>186,660,618.10</b>	<b>568,541,468.00</b>	<b>650,460,592.00</b>	<b>679,731,319.00</b>	<b>700,123,258.00</b>	<b>721,126,955.00</b>
<b>Costos Desincorporación \$</b>		<b>-</b>	<b>31,930,000.00</b>							
<b>Costo Total Actual \$</b>		<b>100,771,098.52</b>	<b>433,206,174.50</b>	<b>502,475,934.00</b>	<b>328,267,636.14</b>	<b>770,839,230.76</b>	<b>862,343,078.63</b>	<b>894,183,888.64</b>	<b>916,233,059.73</b>	<b>970,873,705.78</b>

VPN Costo del Ciclo de Vida (Equipo Actual) \$ 4,783,752,969.01

Nota. Modelo de análisis del ciclo de vida LCC tomado del curso de confiabilidad en la práctica. Fuente: Orrego

## 6.6 Relación de la confiabilidad en el costo del ciclo de vida

El objetivo principal de este trabajo es encontrar y relacionar la confiabilidad con los costos asociados al activo físico, que por criticidad se escogió para ser analizado durante todo su ciclo de vida, tomando los valores encontrados en los apartados anteriores. Revisando los datos obtenidos desde la confiabilidad por medio del pronóstico que se hace desde la distribución de Weibull en el apartado 6.3.2, se extraen los resultados para cada año y se comparan directamente con los costos totales actuales que se obtuvieron año a año por medio del modelo LCC basado en el modelo de Orrego del curso de confiabilidad en la práctica.

En la siguiente **Tabla 39** se puede observar la confiabilidad histórica (2018-2022) que tiene la confiabilidad año a año sobre los costos totales del ciclo de vida. A medida que la confiabilidad se pierde va destruyendo valor financiero impactando de manera negativa en los ingresos a la compañía. Es por esta razón que invertir en confiabilidad contribuye a la generación de beneficios de nuestros activos mejorando la disponibilidad y por ende incrementando la productividad, siempre y cuando los costos de inversión de confiabilidad no superen los ingresos adquiridos al aumentar la confiabilidad.

**Tabla 39**

*Relación de confiabilidad histórica con los costos del ciclo de vida.*

Año	2018	2019	2020	2021	2022
R(t)	99%	98%	97%	97%	95%
Costo total actual	\$ 100,771,099	\$ 433,206,175	\$ 502,475,934	\$ 328,267,636	\$ 770,839,231
\$COP/R(t)	\$ 1,017,890	\$ 4,420,471	\$ 5,180,164	\$ 3,384,202	\$ 8,114,097

Como se ha nombrado a largo de estos trabajo la relación que tiene la confiabilidad en el ciclo de vida de los activos, en la presente **Tabla 40** se analiza el impacto de la confiabilidad en costos por oportunidad de mantenimiento es decir lo que deja de producir y por ende lo que deja de ganar la empresa cuando confiabilidad disminuye, tomando como punto de partida la confiabilidad 99% del activo en el año 2018 y como segundo punto de referencia la confiabilidad proyectada 94% para el año 2023, se evidencia una disminución de 5 puntos porcentuales lo conlleva que la empresa dejó de producir \$85'626.901 COP/año, y si la compañía quiere invertir

en aumentar la confiabilidad de su activo para el año 2023 debe invertir \$ 45'869.313 COP para llegar a una confiabilidad del 99%.

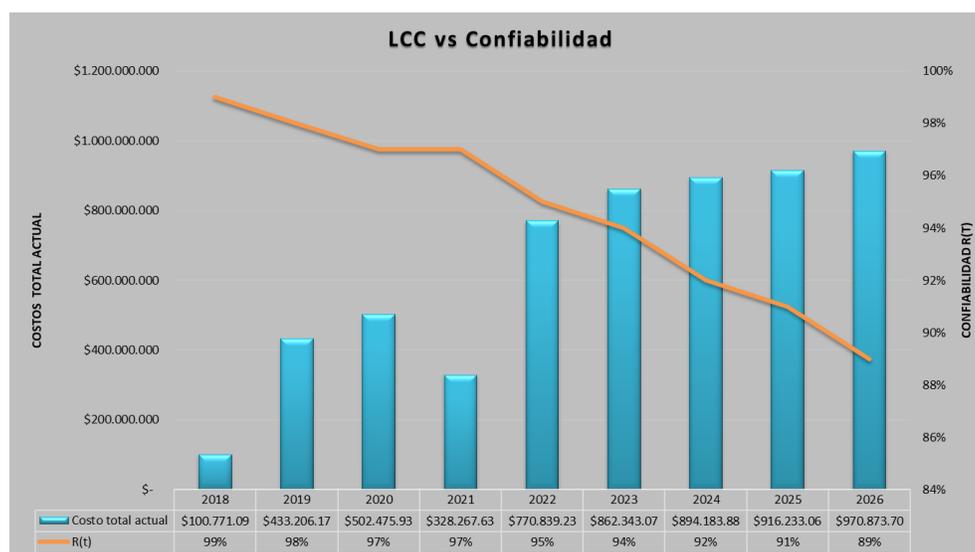
**Tabla 40**

*Relación de la confiabilidad proyectada con los costos del ciclo vida.*

Año	2023	2024	2025	2026
R(t)	94%	92%	91%	89%
Costo total actual	\$ 862,343,079	\$ 894,183,889	\$ 916,233,060	\$ 970,873,706
\$COP/R(t)	\$ 9,173,863	\$ 9,719,390	\$ 10,068,495	\$ 10,908,693

**figura 13**

*Comparación entre el LCC y la confiabilidad del activo (2018-2026).*

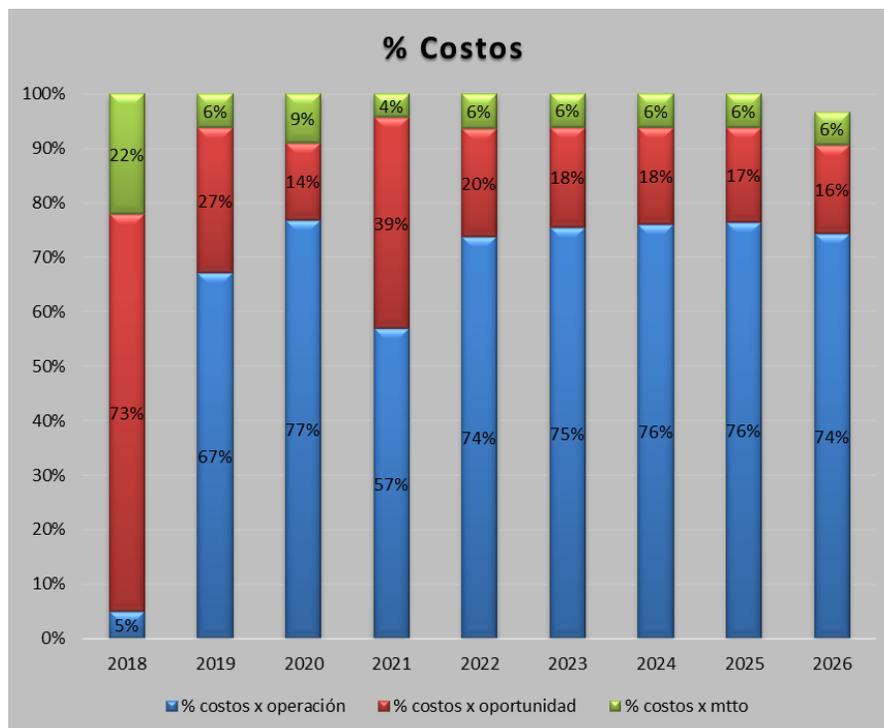


Además de revisar el comportamiento que tiene la confiabilidad con el modelo LCC, se analiza cómo están distribuidos y que tanto peso tienen los costos durante el ciclo de vida del activo por año, para poder tomar decisiones.

Como se observa en la **Figura 14** el costo de operación tiene la mayor participación dentro de los costos totales, pero son costos que controlarlos puede llegar a ser más complejo, ya que son la materia prima para el proceso (energía, agua, gas) y que sirven para que el equipo pueda cumplir su función, por consiguiente y para poder disminuir costos dentro de la vida del activo se debe enfocar los esfuerzos al segundo porcentaje más alto, que son los costos por oportunidad, porque estos si dependen en gran parte por lo que se hace o se deja de hacer por el área de mantenimiento.

**Figura 14**

*Distribución porcentual de los costos del ciclo de vida.*



### **6.7 Metodologías basadas en confiabilidad enfocadas en la evaluación del desempeño técnico-económico de activos físicos.**

Es importante señalar, que no hay fórmulas simples para "medir" los diversos procesos que afectan al mantenimiento y a la gestión de activos, tampoco hay reglas fijas o inmutables con validez para siempre y en todos los casos, pero se pueden implementar varias estrategias en el camino de lograr un buen resultado y por esto se mencionan algunas de estas herramientas, metodologías para lograr una mejor confiabilidad dependiendo de cuanto se acomode a la organización. Ver **Tabla 41**.

**Tabla 41***Aporte de herramientas y metodologías a la confiabilidad*

	RCM	TPM	PMO	RCA	RBI	FMEA	FMEAC	Pareto	Tormenta de Ideas	5 Por qué	Diagrama Causa Efecto	5W + 1H	Análisis P-M	Árbol de Fallas	Árbol de Eventos	Six Sigma	Benchmarking	HAZOP
Formular Estrategias de Mantenimiento	●	●	●	△	●	●	●	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
Aumentar Confiabilidad	●	●	●	●	●	●	●	△	△	△	△	△	△	△	△	●	●	●
Aumentar Mantenibilidad	●	●	●	●	●	●	●	△	△	△	△	△	△	△	△	●	●	△
Reducir Gastos de Mantenimiento	●	●	●	●	●	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	●	●	△

Gran Aporte	●
Aporte Medio	●
Sin Aporte	△

Nota. Información toma del libro confiabilidad en la práctica. Fuente: Orrego

**6.7.1 Mantenimiento basado en confiabilidad (RCM).**

En la actualidad existen muchos tipos de metodología que contribuyen a la generación de valor de nuestros activos, una de la más usadas dentro de la industria es el mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) para entender esta metodología debemos partir de la definición de la palabra confiabilidad, (Smith, 2004) la confiabilidad es la probabilidad que un activo realice su función satisfactoriamente durante un periodo de tiempo específico y bajo unas condiciones operacionales.

De acuerdo a (Moubray, 2004) “el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad es un proceso utilizado para determinar qué se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que hagan en su contexto operacional”. (Orrego, 2015) nos dice que la definición del contexto operacional hace referencia a todos los factores que afectan o pueden verse afectados con el activo o elemento bajo análisis, sistema de gestión, plan de mantenimiento o la Gestión de los activos físicos”. (Orrego & Silva, 2016) todo activo es una unidad independiente y que este se ve afectado por múltiples factores tanto de operación y medio ambiente lo cual conlleva que el comportamiento del activo sea diferente.

---

RCM es un método para desarrollar y seleccionar la estrategia de mantenimiento basado en la seguridad, operación y los costos, teniendo como principio fundamental el contexto organizacional en donde se desempeñan los activos.

Como eje principal para aplicar RCM se debe tener en cuenta una técnica llamada “Análisis de Modos y Efectos de Fallas” o FMEA (Orrego & Silva, 2016) la metodología RCM se basa en determinar la funcionalidad de los activos, del impacto que puede generar ese activo al medio ambiente y a la seguridad, con el fin de realizar un riguroso análisis de fallas potenciales para determinar el mantenimiento aplicar. Como punto de partida para llevar a cabo un RCM se debe identificar y preservar las funciones del sistema o equipo, con el fin de identificar los modos de fallas que pueden hacer que no se cumpla la función requerida del activo, luego se debe priorizar las necesidades de la función y por último se seleccionan las tareas de mantenimiento proactivas para cada modo de falla. Todo este análisis se debe realizar bajo el contexto operacional de cada sistema, debido a que cada activo operará bajo condiciones únicas. Por ejemplo, la ubicación geográfica donde se encuentra el activo, los parámetros de operación (Temperatura, presión, caudal, flujo másico), entre otros.

(Moubray, 2004) el RCM formula las siguientes 7 preguntas con el fin de aplicar correctamente la metodología a un activo o un sistema. ¿Cuáles son las funciones y los parámetros funcionales asociados al activo en su contexto operacional?, ¿Cómo puede el activo no cumplir con cada función?, ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?, ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?, ¿De qué manera impacta cada falla?, ¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir cada falla?, ¿Qué puede hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?

La Norma ISO-3010 en el numeral B.13 “Análisis de modos y efectos de fallas (FMEA) y Análisis de modos y efectos de fallas y de la criticidad” nos brinda las herramientas necesarias para dar respuestas a las primeras cuatro preguntas del RCM. La FMEA es una técnica que se utiliza para identificar las vías por las que los componentes, sistemas o procesos pueden dejar de cumplir con su intención de diseño. En cuanto a la primera pregunta del RCM se deben definir las funciones de cada activo en su contexto operacional, junto con los parámetros de funcionamiento deseado. Las funciones de un activo pueden ser divididas en dos categorías:

**Funciones primarias:** en esta categoría se debe reconocer el porqué de la adquisición del activo y se debe tener en cuenta los parámetros requeridos de funcionamientos deseados, tales

como, la velocidad de producción, la capacidad requerida del activo, la calidad del producto (Moubray, 2004).

**Funciones Secundarias:** en esta categoría se debe reconocer que se espera de activo aparte de cubrir las funciones primarias.

Una vez se ha identificado cada falla funcional del activo o sistema, el siguiente paso es tratar de identificar todos posibles hechos que pudieron causar cada estado de falla, estos se denominan modos de fallas.

El cuarto paso del proceso de RCM ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla? Se debe hacer un listado de los efectos de la falla, el cual se debe describir lo que ocurre con cada modo de falla, donde se debe incluir toda la información necesaria con el propósito de apoyar a la evaluación de la consecuencia de la falla, por ejemplo, ¿De qué modo representa una amenaza para la seguridad o el medio ambiente?, ¿De qué manera afecta la producción o las operaciones?, ¿Qué debe hacerse para reparar la falla?

En cuanto la quinta pregunta que establece RCM nos ayuda a determinar cómo debemos actuar al momento que una falla ocurre, independiente si tiene alguna consecuencia en cuanto a la seguridad, el medio ambiente y la producción. Las dos últimas preguntas nos proporcionan las actividades que se deben realizar para prevenir las fallas potenciales. Como parte final de esta temática la metodología RCM busca:

- Extender la vida útil
- Preservar las funciones de los activos bajo su contexto operacional
- Evitar, reducir o eliminar las consecuencias de las fallas funcionales
- Priorizar técnicas predictivas y de condición
- Construir defensas costos efectivas razonables contra las fallas
- Minimizar o eliminar todos los riesgos identificables relacionados con la seguridad y el medio ambiente.
- Mejorar el funcionamiento operacional (Cantidad, calidad de producto y servicio al cliente)
- Mayor costo eficacia del mantenimiento

### ***6.7.2 Herramienta de auditoría AMORMS (Asset Management, Operational, Reliability & Maintenance Survey).***

Esta auditoría tiene la finalidad de mostrar el estado actual de las compañías por medio de 150 preguntas enfocadas en la madurez que se tiene en la gestión de activos, buscando información asociada a las diferentes etapas que aportan a dicha gestión. Es una herramienta diseñada para

diagnosticar y analizar las oportunidades de mejora existentes, en relación con las 8 fases del Modelo de Gestión del Mantenimiento (MGM) diseñado por INGEMAN (Parra & Crespo, 2015).

**Tabla 42**

*Fases del modelo de gestión de mantenimiento (MGM)*

Fases	Parámetros a evaluar
Fase 1	Gestión de activos, objetivos del negocio (KPI's) y organización de soporte
Fase 2	Modelos de jerarquización basados en riesgo (criticidad de equipos).
Fase 3	Análisis de problemas (manejo de fallas).
Fase 4	Procesos de programación y planificación.
Fase 5	Procesos de asignación de recursos, soporte informático y logístico.
Fase 6	Procesos de control y análisis de indicadores técnicos RAM
Fase 7	Proceso de análisis de costos de ciclo de vida.
Fase 8	Proceso de revisión y mejora continua.

Estas fases entran a formar un ciclo de mejora continua teniendo la eficacia, la eficiencia y la evaluación de los procesos de gestión de activos, como se puede observar en la **Figura 15**.

**Figura 15**

*Fases para formar un ciclo de vida de mejora continua*



En esta primera sección se relaciona la gestión del mantenimiento con la gestión de activos y estos dos a su vez cómo se relacionan con las políticas organizacionales, como se puede observar en las preguntas está enfocado en encontrar:

- Visión y misión.
- Alcance del sistema de Gestión de Activos.
- Política de gestión de activos.
- Objetivos de Gestión de Activos.
- Plan Estratégico de Gestión de Activos para cumplir con los objetivos.
- Estructura organizacional.
- Medición y control financiero de la gestión de activos por medio de KPI's.

Tabla 43

## Gestión de activos, objetivo del negocio

1 GESTIÓN DE ACTIVOS, OBJETIVOS DEL NEGOCIO (KPIS) Y ORGANIZACIÓN DE SOPORTE	1.1 Visión Gerencial & Liderazgo	1.1.1 Existen Directrices Corporativas sobre el proceso de Gestión de Activos?
		1.1.2 Existe Conciencia de la Gestión de Activos y su Administración? (Roles/Alcances/Responsabilidades)
		1.1.3 Existe un Control detallado sobre los objetivos del negocio desde la Gerencia Corporativa?
		1.1.4 Tiene la Gerencia Corporativa un liderazgo integral y sostenible sobre el negocio? (Control Sostenible)
		1.1.5 La Gerencia Corporativa, las gerencias intermedias y los niveles técnicos y de ejecución comparten de forma eficiente el liderazgo del negocio? (Empoderamiento)
	1.2 Plan Integral de Gestión de Activos	1.2.1 La organización cuenta con un modelo integral de gestión de activos incluida en su visión y misión?
		1.2.2 Existe un plan integral diseñado para implantar los diversos procesos propuestos por el modelo de gestión de activos?
		1.2.3 Existe un plan de Gestión de Activos a largo plazo y está integrado con los objetivos y metas del negocio?
		1.2.4 Las técnicas de ingeniería de confiabilidad y mantenimiento están vinculadas con los procesos propuestos por el modelo de gestión de activos?
		1.2.5 Se tiene definido un proceso integral de auditoría y mejora continua del modelo de gestión de activos a ser implementado?
	1.3 Políticas Integrales de Mantenimiento (Gerencial)	1.3.1 Existe una política de mantenimiento integrada con la Gestión Corporativa del negocio?
		1.3.2 Las políticas de mantenimiento de corto, mediano y largo plazo, están ajustadas a la realidad del negocio?
		1.3.3 La política de mantenimiento ha sido creada de acuerdo con las políticas estratégicas del negocio?
		1.3.4 Las políticas de operación y mantenimiento están vinculadas e integradas con los objetivos y metas del negocio?
		1.3.5 Las políticas de Mantenimiento y Confiabilidad están integradas con la visión y misión del negocio?
	1.4 Estructura Organizacional	1.4.1 Existe de forma general una estructura organizacional bien definida?
		1.4.2 Existe una estructura organizacional eficiente para gestionar los procesos de mantenimiento y confiabilidad (están claras las responsabilidades de los grupos de confiabilidad)?
		1.4.3 Existe una estructura organizacional eficiente para gestionar las operaciones?
		1.4.4 La Organización tiene grupos específicos relacionados con la implantación de técnicas en las áreas de Confiabilidad y Mantenimiento?
		1.4.5 La Organización tiene una estructura administrativa y técnica, orientada a soportar el proceso integral de Gestión de Activos?
1.5 Control Financiero (KPIS claves del negocio)	1.5.1 Existe un procedimiento bien desarrollado para gestionar el control financiero (KPIS claves del negocio)?	
	1.5.2 Los procesos de control financiero se aplican a partir del análisis de los KPIS claves de forma continua y no de forma eventual?	
	1.5.3 El sistema de control financiero es monitoreado y auditado de forma eficiente?	
	1.5.4 El control financiero está totalmente vinculado con las metas y objetivos de la organización?	
	1.5.5 El proceso de control de los KPIS financieros están integrado con los procesos indicadores técnicos y económicos de las áreas de mantenimiento y confiabilidad?	

La segunda parte que se evalúa dentro de la auditoría es la jerarquización y criticidad de los activos, esta como se menciona anteriormente sirve para la toma de decisiones referente a la intervención o no de los activos, revisar y administrar los riesgos a los cuales están expuestos y cómo están relacionados con la seguridad, el medio ambiente y la salud del personal que opera el activo físico.

**Tabla 44**

*Modelos de jerarquización basados en riesgos*

<b>2 MODELOS DE JERARQUIZACIÓN BASADOS EN RIESGO (CRITICIDAD DE ACTIVOS)</b>	2.1 Gestión de Riesgos	2.1.1 Está definida de forma clara la política integral de gestión de Riesgos alineada con el modelo de Gestión de Activos?
		2.1.2 Existe un proceso integral de gestión para el control del riesgo en las áreas de mantenimiento y confiabilidad?
		2.1.3 Existe un proceso eficiente para comunicar los diferentes niveles de riesgos que están expuestos los integrantes de las áreas de mantenimiento y confiabilidad?
		2.1.4 Los riesgos en los procesos de mantenimiento y confiabilidad, son analizados, revisados y actualizados en forma regular?
		2.1.5 La organización utiliza modelos de gestión de riesgo como base para la toma de decisiones en las áreas de mantenimiento y confiabilidad?
	2.2 Priorización de equipos	2.2.1 La organización ha desarrollado un modelo de criticidad de equipos basados en Riesgo
		2.2.2 El modelo de Riesgo priorización de equipos está alineado con los objetivos del negocio
		2.2.3 La información utilizada para estimar la frecuencia y la de las fallas es tomada de una fuente confiable y veraz
		2.2.4 El modelo de priorización de equipos es un modelo estándar para toda la organización y es utilizado en todas las áreas operacionales de la organización
		2.2.5 Los resultados de jerarquización de equipos se utilizan para tomar decisiones de mejora en la operación y mantenimiento de los activos
	2.3 Gestión de los procesos de Seguridad, Salud y Ambiente	2.3.1 Existe un plan eficiente de emergencias y contingencias en la organización?
		2.3.2 Se ha comunicado al personal sobre las potenciales consecuencias sobre los eventos que pueden afectar seguridad, la salud y el ambiente?
		2.3.3 Se tiene desarrollada una política de emergencias y seguridad bien documentada y comunicada?
		2.3.4 Los planes de emergencias y seguridad son revisados, mejorados y actualizados de forma continua?
		2.3.5 Los planes de emergencias están certificados por organizaciones locales e internacionales reconocidas?

La herramienta también ayuda a identificar el nivel de madurez que tiene la compañía en el mantenimiento de los activos y para esto el ítem 3 y 4 relacionan el qué, el cómo, el dónde y el quién, de las actividades de mantenimiento como lo son los análisis de fallas, los tipos de mantenimiento (correctivo, preventivo y predictivo) desde la planeación y la programación. Además, revisando que tan estandarizados están estos procesos para facilitar la disponibilidad de los recursos a la hora de ejecutar los trabajos de mantenimiento.

Tabla 45

## Proceso de análisis de problemas

3 PROCESO DE ANÁLISIS DE PROBLEMAS (ANÁLISIS DE CAUSA RAÍZ)	3.1 Gestión de las fallas	3.1.1 Existe un procedimiento estándar para gestionar las fallas en toda la organización?
		3.1.2 El procedimiento de análisis de fallas es de fácil aplicación y es aceptado por toda la organización?
		3.1.3 Existe un proceso eficiente sobre la información recopilada en los análisis de fallas (proceso eficiente de documentación y registro)?
		3.1.4 El proceso de análisis de fallas es llevado a cabo por equipos interdisciplinarios que permitan validar con hechos reales las causas encontradas?
		3.1.5 El proceso de gestión de fallas tiene indicadores previamente definidos y analizados, que permitan medir la eficiencia y la efectividad de las recomendaciones emitidas (el proceso de análisis de fallas está incorporado a un proceso de mejoramiento continuo)?
	3.2 Equipos multidisciplinarios de optimización	3.2.1 Los trabajadores están bien organizados y motivados para el logro de los objetivos del negocio?
		3.2.2 El ambiente de trabajo es propicio para realizar análisis que promuevan cambios y procesos de mejora?
		3.2.3 Existe un proceso eficiente de comunicación entre la gerencia de la organización y el resto de los niveles administrativos?
		3.2.4 La estructura organizacional de los trabajadores está orientada a soportar el proceso integral de gestión de activos?
		3.2.5 Existe un proceso estándar que promueva a los trabajadores a participar en equipos multidisciplinarios?
	3.3 Métodos de Análisis de Fallas	3.3.1 La organización utiliza un método estándar de análisis de fallas para toda la organización?
		3.3.2 La metodología de Análisis de Fallas permite identificar el área de oportunidad en función de nivel de Riesgo provocado por los modos de fallas?
		3.3.3 La metodología de Análisis de Fallas propone un procedimiento que permita validar de forma eficiente las hipótesis planteadas (validación con hechos reales)?
		3.3.4 Las recomendaciones generadas de los análisis de fallas son seleccionadas a partir de un procedimiento de Análisis Costo Riesgo Beneficio?
		3.3.5 Se evalúan y auditan los resultados reales de las acciones recomendadas una vez finalizados los análisis de fallas?

**Tabla 46**

*Procesos de programación, planificación y optimización de planes de mantenimiento, inspección y operaciones.*

<b>4 PROCESOS DE PROGRAMACIÓN, PLANIFICACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE PLANES DE MANTENIMIENTO, INSPECCIÓN Y OPERACIONES</b>	4.1 Programación y planificación	4.4.1 Existe definida una estrategia a nivel gerencial de optimización del mantenimiento?
		4.4.2 Existe un proceso detallado y eficiente de programación y planificación del mantenimiento?
		4.4.3 Se cumplen de forma eficiente las Estrategias de Planificación y Programación para el mantenimiento de los equipos?
		4.4.4 Las estrategias de planificación y programación del mantenimiento están alineadas con el plan de negocio de la organización?
		4.4.5 Las estrategias de planificación y programación del mantenimiento se analizan y se auditan los resultados de aplicación de estas estrategias?
	4.2 Procedimientos e instructivos de trabajos	4.2.1 Existe una estructura que permita documentar los procedimientos e instructivos de trabajo?
		4.2.2 Existe un marco general de referencia y soporte para generar documentación sobre los procedimientos e instructivos de trabajo?
		4.2.3 Existe un sistema de control documental alineado con algún estándar local o internacional?
		4.2.4 Los procedimientos de trabajo son utilizados activamente por toda la fuerza de trabajo?
		4.2.5 Las mejoras a los procedimientos de trabajo son realizadas e incluidas en los planes de adiestramiento de l personal?
	4.3 Planes de Mantenimiento por Condición (técnicas predictivas)	4.3.1 Existe un proceso eficiente de gestión del mantenimiento por condición?
		4.3.2 Se realizan actividades de mantenimiento por condición de forma organizada y continua?
		4.3.3 Existe un plan de monitoreo de condiciones basado en el nivel de criticidad por Riesgo de los activos de la organización?
		4.3.4 El monitoreo de condiciones es parte integral de una estrategia de optimización de l mantenimiento?
		4.3.5 El proceso de monitoreo de condiciones de la compañía es auditado y se le hace seguimiento a la efectividad de las recomendaciones emitidas?
	4.4 Técnicas de optimización en las áreas de Confiabilidad, Mantenimiento y Operaciones	4.4.1 La organización ha desarrollado un modelo guía de implantación de las metodologías de Confiabilidad y Mantenimiento, orientado a cumplir con los objetivos del negocio?
		4.4.2 La organización cuenta con un grupo de soporte encargado de administrar y facilitar las herramientas de Confiabilidad y Mantenimiento?
		4.4.3 Se aplican de forma organizada y constante los diferentes métodos de Confiabilidad y Mantenimiento (RCM, RCA, TPM, RBI, Lean.....)?
		4.4.4 Se miden, auditan y confirman los resultados de las aplicaciones de los métodos de Confiabilidad y Mantenimiento?
		4.4.5 Se revisan y actualizan los métodos de Confiabilidad y Mantenimiento (se toman en cuenta las novedades, actualizaciones y desarrollo de nuevos métodos de optimización)?

Como apoyo a la fase 4, la fase 5 busca darle importancia a tener un sistema de información tanto de documentos de índole financiera como de mantenimiento y de abastecimiento al desarrollo operacional de los activos, y por eso audita que tanta de esa información aporta al suministro de acciones en mantenimiento y que tanta de esa información ayuda a generar confiabilidad.

**Tabla 47**

*Procesos de asignación de recursos, soporte informático y soporte logístico a los procesos de mantenimiento y confiabilidad.*

5 PROCESOS DE ASIGNACIÓN DE RECURSOS, SOPORTE INFORMÁTICO Y SOPORTE LOGÍSTICO A LOS PROCESOS DE MANTENIMIENTO Y CONFIABILIDAD	5.1 Sistema de soporte informático de mantenimiento (software de mantenimiento)	5.1.1 ¿Existe un sistema eficiente de soporte informático para el mantenimiento?
		5.1.2 El diseño de las órdenes de trabajo dentro del software es adecuado y se utiliza de forma eficiente?
		5.1.3 El sistema de órdenes de trabajo ayuda a mejorar los procesos de programación y planificación del mantenimiento?
		5.1.4 El software de mantenimiento es utilizado en forma extensa por toda la organización, incluyendo todos los tipos de paros (correctivos, preventivos, por condición, detenciones mayores, seguimiento de componentes de fallas, etc.)?
		5.1.5 El sistema de soporte informático de mantenimiento genera de forma automática indicadores técnicos y económicos, los cuáles son ampliamente usados por toda la organización para mejorar la toma de decisiones?
	5.2 Sistema de control de documentos	5.2.1 Existe un sistema general de administración de documentos técnicos de mantenimiento (planos, P&D, flujogramas de procesos, manual de operaciones, etc.)
		5.2.2 Existe un sistema de administración de documentos que integre la información del mantenimiento con las otras áreas de la organización?
		5.2.3 Existe un sistema de administración de documentos que cumpla con alguna norma o estándar de calidad?
		5.2.4 El sistema de administración de la documentación está totalmente implementado de forma informática?
		5.2.5 El sistema de administración de documentos, está en línea para toda la organización y se usa de forma amplia y eficiente?
	5.3 Manejo de repuestos, materiales (logística)	5.3.1 El proceso de general de abastecimiento y logística de repuestos es eficiente?
		5.3.2 El proceso de abastecimiento y planificación de materiales es organizado y tiene un flujo ordenado y bien controlado?
		5.3.3 El proceso de manejo y planificación de materiales está desarrollado para toda la planta?
		5.3.4 EL proceso de abastecimiento y planificación de materiales está integrado de forma eficiente con el área de mantenimiento?
		5.3.5 EL proceso de Abastecimiento y planificación de materiales tiene indicadores de optimización integrados a nivel de los objetivos del negocio que son evaluados, analizados, utilizados y auditados de forma continua?
	5.4 Procesos de administración de la bodegas e inventarios	5.4.1 La administración del inventario es llevada a cabo por una organización bien estructurada para esta función?
5.4.2 La administración del inventario es llevada y controlada por una herramienta de soporte informática?		
5.4.3 El proceso de administración de la bodega y manejo de inventarios, incluye indicadores de optimización de repuestos utilizando técnicas de análisis de Riesgo?		
5.4.4 El software de administración de los repuestos, genera de forma automática, indicadores de análisis de inventarios que son utilizados para optimizar los diversos procesos de la gestión de materiales?		
5.4.5 Los procesos de administración de abastecimiento y manejo de inventarios están orientados a lograr los objetivos del proceso de Gestión de Activos?		

Un punto importante a la hora de gestionar los activos es el cómo medimos dicha gestión, y para esto es necesario contar con un control y un análisis de indicadores técnicos del negocio, estos ayudaran a revisar desviaciones y a valorar como se encuentra la etapa de mantenimiento

(planeación y programación) frente a los demás clientes internos y externos (operaciones, contratistas, talleres) y que tanto ellos aportan a la gestión. Todo esto se identifica en la fase 6 de la auditoría.

**Tabla 48**

*Procesos de control y análisis de indicadores técnicos del negocio (RAM).*

6 PROCESOS DE CONTROL Y ANÁLISIS DE INDICADORES TÉCNICOS DEL NEGOCIO (RAM)	6.1 Indicadores de desempeño técnico	6.1.1 Existe un proceso eficiente de registro de la información histórica de los equipos?
		6.1.2 Se realizan de forma eficiente análisis de mejora sobre la información histórica de fallas y operación de los equipos?
		6.1.3 Existe un programa estándar de análisis de indicadores implementado de forma eficiente?
		6.1.4 Se realizan análisis sistemáticos de fallas a partir de indicadores de riesgo previamente definidos?
		6.1.5 La organización evalúa y toma decisiones a partir de indicadores de mejora en confiabilidad y mantenibilidad de forma eficiente (MTTF, MTTR, Disponibilidad..., etc)?
	6.2 Programas de revisión de los planes de mantenimiento	6.2.1 Se realizan análisis de mejora sobre los diferentes tipos de mantenimientos ejecutados?
		6.2.2 Se toman acciones sobre los análisis realizados a los diferentes tipos de mantenimientos ejecutados?
		6.2.3 El análisis de los mantenimientos ejecutados, es realizado de forma eficiente y sistemática?
		6.2.4 Las recomendaciones realizadas a partir del análisis de los mantenimientos ejecutados, son tomadas en cuenta y se auditan los resultados de las acciones emitidas?
		6.2.5 Se realiza algún proceso de benchmarking en relación a los indicadores de mantenimiento y confiabilidad?
	6.3 Procesos de control de las operaciones	6.3.1 Existe un procedimiento donde se detallen los procesos operacionales?
		6.3.2 Se relacionan los procesos operacionales con todas actividades de producción?
		6.3.3 Se relacionan las estrategias operacionales con las estrategias del mantenimiento?
		6.3.4 Están vinculadas de forma eficiente las metas operacionales con la planificación de las actividades de mantenimiento?
		6.3.5 Están integradas las estrategias de operación y producción con los procesos de programación y planificación del mantenimiento?
	6.4 Control de contratistas	6.4.1 El uso de contratistas es eficiente y se tienen modelos de contratos establecidos por áreas y tipos de trabajo?
		6.4.2 Los contratos de corto y largo plazo están totalmente estandarizados?
		6.4.3 Existe un proceso de validación y auditoría de las credenciales de los contratistas que participan en los diferentes procesos de mantenimiento y operación?
		6.4.4 Existen un proceso eficiente de evaluación del desempeño real de los contratistas, que sea constantemente monitoreado y que permita tomar acciones sobre las desviaciones encontradas?
		6.4.5 Los contratos de negocios establecidos con los contratistas están totalmente alineados en términos de estrategias con los objetivos y metas del negocio?
6.5 Gestión de talleres	6.5.1 La organización cuenta con un servicio eficiente: propio o contratado de talleres para actividades de mantenimiento?	
	6.5.2 Existe un proceso interno que permita evaluar el desempeño de los servicios prestados por los talleres?	
	6.5.3 Existe un modelo de contrato estándar desarrollado para todos los servicios solicitados a los talleres?	
	6.5.4 Existe un procedimiento específico que permita evaluar los tiempos de entrega, los costos y la calidad de ejecución de los servicios ofrecidos por los talleres?	
	6.5.5 Existe un modelo de auditoría y benchmarking certificado bajo una norma local o internacional, que permita evaluar los Servicios ofrecidos por los talleres?	

Los indicadores son fundamentales para la toma de decisiones en planta, pero el ingeniero ha de tener presente la recolección de datos de calidad y el tratamiento de ellos identificando la

función de distribución que mejor los representa, con ello, podrá realizar los cálculos que llevaran a tomar decisiones acertadas.” (Orrego, 2016)

Al ser una auditoría enfocada a la gestión de activos es necesario contar con la parte de los costos durante todo el ciclo de vida, es de vital importancia manejar una información confiable de estos costos pues darán el soporte necesario para tomar decisiones de si se continúa o no con el activo o grupo de activos que hoy por hoy no están generando valor a la compañía.

De no contar con un análisis de costo del ciclo de vida del activo se debe desarrollar en conjunto por un equipo multidisciplinario para identificar y optimizar los costos que involucran cada una de las etapas del ciclo de vida.

**Tabla 49***Procesos de análisis de costos de ciclo de vida*

7 PROCESOS DE ANÁLISIS DE COSTOS DE CICLO DE VIDA	7.1 Asset Life Cycle Cost Management	7.1.1 Existe un procedimiento eficiente de análisis del ciclo de vida de los activos?
		7.1.2 Se analiza y se pronostica el ciclo de vida de los activos de la organización?
		7.1.3 Existe un proceso de evaluación del impacto económico de la Confiabilidad en el ciclo de vida de los activos (Modelos Woodard, Willans and Scott....., etc.)?
		7.1.4 El proceso de Análisis de Ciclo de vida de los activos es llevado a cabo por equipo multidisciplinario de toda la organización en dónde participan los grupos de operaciones y mantenimiento?
		7.1.5 Se documenta de forma eficiente la información del ciclo de vida de los activos y se auditan los resultados de Ciclo de Vida de los equipos seleccionados?
	7.2 Manejo de información en el Ciclo de Vida del Activo	7.2.1 ¿La administración de la organización revisa regularmente los factores claves de su sistema de gestión de activos (incluyendo política de gestión de activos, estrategia, objetivos, y planes) para asegurar su eficacia, adecuación y conveniencia a lo largo de todo el Ciclo de Vida?
		7.2.2 ¿La información económica y técnica (factores claves de la gestión de activos) es considerada para la revisión, seguimiento y sustitución de los equipos?
		7.2.3 ¿La organización usa la información económica y técnica para mejorar continuamente su sistema de gestión de activos global a lo largo de todo el Ciclo de Vida?
		7.2.4 ¿La organización asegura que los resultados de las revisiones realizadas a los factores claves de la gestión de activos, esté disponible, para que la alta dirección tome en cuenta los resultados obtenidos, durante el análisis y la revisión de los planes estratégicos de la organización a lo largo de todo el Ciclo de Vida?
		7.2.5 ¿La organización mantiene los registros de las revisiones de los factores claves de la gestión de activos y comunica información relevante a los empleados, proveedores de servicios contratados u otras áreas relacionadas (interesadas - stakeholders) con el proceso de gestión de activos a lo largo de todo el Ciclo de Vida?
	7.3 Mantenimientos especiales (paradas de plantas, overhauls...)	7.3.1 Las detenciones mayores son implementadas en forma ordenada bajo un modelo de gestión de grandes paradas de plantas?
		7.3.2 Las detenciones mayores son implementadas por grupos a dedicación exclusiva?
		7.3.3 Las detenciones mayores son programadas, planificadas y ejecutadas bajo el uso de herramientas de optimización de confiabilidad y riesgo?
		7.3.4 Existe un proceso de registro de las detenciones mayores que permita recopilar las lecciones aprendidas y todas las actividades son especificadas y estandarizadas?
		7.3.5 Existe una estrategia de integral de optimización de los procesos paradas de plantas, se auditan y se realizan análisis de benchmarking y de mejora continua?

La mejora continua de la gestión de activos (Fase 8) será posible utilizando técnicas y tecnologías emergentes en áreas que se consideren de alto impacto como resultados de los estudios realizados en fases anteriores del proceso de gestión.

Además, esta fase permite identificar el activo humano, quien es al final de cuentas el activo más importante dentro de las organizaciones y por ende la falta de un plan de carrera o de mejora profesional para los integrantes del área de mantenimiento, se debe considerar la implementación de redes de desarrollo de cada especialización.

**Tabla 50***Proceso de revisión y mejora continua*

<b>8 PROCESO DE REVISIÓN Y MEJORA CONTINUA</b>	8.1 Control de Calidad	8.1.1 Existe un modelo eficiente de gestión de la calidad dentro del área de mantenimiento?
		8.1.2 Existe el conocimiento de que la calidad contribuye a la mejora del desempeño de los procesos de mantenimiento y confiabilidad?
		8.1.3 La organización del mantenimiento está alineada con los programas de mejoramiento de la calidad?
		8.1.4 La organización de mantenimiento ha sido acreditada en alguna norma relacionada con la calidad?
		8.1.5 La compañía está acreditada en alguna norma de la calidad y se ha incorporado el proceso de gestión de la calidad dentro del mantenimiento?
	8.2 Programas de mejora continua	8.2.1 Las mejoras en los procesos de mantenimiento y confiabilidad son llevadas de forma ordenada y actualizadas bajo un modelo específico?
		8.2.2 Existe un marco de referencia para incluir mejoras en los procesos de mantenimiento y confiabilidad?
		8.2.3 Existe un programa de seguimiento a las propuestas de mejoras en las áreas de mantenimiento y confiabilidad?
		8.2.4 El proceso de Mejora continua es una práctica común en las áreas mantenimiento y confiabilidad?
		8.2.5 El proceso de mejora continua es una práctica estándar de todos los negocios que conforman el proceso industrial analizado?
	8.3 Programas de desarrollo de personal	8.3.1 La organización cuenta con un departamento que se encargue del proceso de adiestramiento formal al personal de toda la organización?
		8.3.2 Se provee de adiestramiento eficiente al personal nuevo de la organización?
		8.3.3 Existe un plan de entrenamiento específico y ajustado a todo el ciclo de vida del trabajador?
		8.3.4 El programa de adiestramiento de todo el personal está adecuado al puesto de trabajo y está orientado a lograr los objetivos del negocio?
		8.3.5 El programa de entrenamiento incluye formación en las áreas de técnicas modernas de mantenimiento, confiabilidad y gestión de activos?

Cabe resaltar que luego de realizar esta auditoría y revisando los resultados en un diagrama de radar, el paso a seguir es la revisión de la información suministrada revisando falencias y virtudes, para así tomar decisiones y enfocarse en los puntos más débiles dentro de la misma, ejecutando planes de trabajo relacionados con el ítem a mejorar, por ejemplo para el ítem dos que habla de la jerarquización de los activos, se puede utilizar la ISO 31000 y el modelo de evaluación del riesgo que involucra una serie de herramientas para identificar, analizar y valorar el riesgo, todo con el fin de encontrar soluciones que satisfagan las necesidades de la organización.

Además, para la ejecución de los planes de trabajo generados posterior a esta auditoría se debe tener un compromiso por parte de todas las áreas funcionales de la compañía, ya que de este plan se logra o no la eficacia y el desempeño deseado en la gestión de activos, y puede definir una ventaja competitiva frente a otras compañías, puesto que todo está enfocado a un manejo de estándares y un manejo de información confiable y eficaz.

## 7. Conclusiones y recomendaciones

Este trabajo monográfico es una versión inicial para identificar que tanto puede influir la confiabilidad en los costos del ciclo de vida del activo y como se pudo observar el comportamiento de la **figura 13**, la confiabilidad es inversa a estos costos mientras el mantenimiento permanezca de manera constante durante el tiempo de vida, es decir mientras se pronostique una tasa de falla por año de 7 fallas y no tomando acciones para aumentar la confiabilidad, pero se deja a consideración del lector la continuación de este trabajo donde el paso a seguir es la aplicación de las diferentes herramientas, metodologías aquí expresadas para aumentar la confiabilidad, alargar la vida del activo y posterior a esto revisar el impacto que tienen para los costos del ciclo de vida y como quedaría el costo por punto porcentual de confiabilidad.

Cuando se realizó este trabajo se evidencia que este solo es el primer paso para tomar decisiones, ya que solo se tuvo en cuenta un activo de la compañía y un parámetro como lo es la confiabilidad, que tiene un impacto en los costos totales del activo pero no es lo único que influye dentro de estos, también hay que aclarar que aún no se tiene un panorama completo de todo lo que impacta dentro de los costos a la organización, ya que se debe revisar las confiabilidades de todos los activos y mirar que tanto influye disminuir o aumentar la confiabilidad de la caldera dentro de toda la línea productiva, porque los costos individualmente pueden parecer altos al subir puntos porcentuales y por ende no generar el retorno esperado dentro de los activos de manera global, pero si se analizan en conjunto tendrá más sentido subir estos puntos porcentuales.

Todo dependerá de que tanto se quiera invertir en mejorar el activo y por ende alargar su vida, porque no tiene lógica aumentar la confiabilidad si el costo que se disminuye en mantenimientos correctivos y preventivos se ve aumentado y superado con los costos de tener un analista de confiabilidad anualmente, que nos esté dando herramientas para mantener o aumentar la confiabilidad, por mencionar un caso.

A pesar de que los costos de operación son porcentualmente los costos más altos del ciclo de vida de la caldera como se demuestra en las gráficas expuestas en el trabajo, los costos por oportunidad tienen un porcentaje alto, y es aquí como mantenedores y posteriormente como gestores de activos donde podemos enfocar nuestros esfuerzos para disminuir los costos, ya que

---

estos están directamente relacionados con los tiempos de mantenimiento (preventivo, correctivo) y por tal motivo al reducir dichos tiempos de intervención y pronosticar las fallas por medio del modelo de confiabilidad de Weibull logramos la optimización de los costos, además de tener en cuenta las mejores prácticas que servirán a la hora reconocer y estandarizar procesos que facilitarían aún más esta disminución de tiempos.

Actualmente el activo cuenta con una confiabilidad del 95% y finalizando su ciclo de vida quedará con una confiabilidad proyectada del 89%, a hoy esta confiabilidad tiene un valor de \$8.114.097 millones de pesos por punto porcentual, pero para el 2026 el punto porcentual tendrá un valor de \$10.908.693 millones de pesos teniendo en cuenta el incremento por el IPC. Si por parte de la compañía se requiere volver a aumentar para el 2026 la confiabilidad del activo a lo que se tiene a la fecha habrá un aumento en el costo total de ese año a \$1.036.325.866 millones de pesos, es decir una diferencia de \$65.452.160 millones de pesos más de lo que se presupuesta, por lo cual, se puede concluir dos situaciones. La primera es que a pesar de que el valor de los costos del ciclo de vida es inverso a la confiabilidad desde una perspectiva del pasar normal del tiempo, aumentar o estabilizar la confiabilidad también aumentarán dichos costos, porque se debe invertir para mantener las condiciones requeridas, para que el activo pueda cumplir la función para la cual fue destinada en un periodo de tiempo establecido con partes del equipo que ya tienen un deterioro por el desgaste normal de las piezas, y segundo que realizar esta inversión puede alargar el tiempo de vida del activo y no sobrepasar los costos que se tiene a la hora de adquirir uno nuevo para esta fecha dado que la inversión del año 0 fue de \$212.822.700, y pensar mejor en una repotenciación.

Se puede concluir además que hay una brecha dentro del área de mantenimiento y el área financiera para controlar los costos del ciclo de vida, ya que al día de hoy la compañía maneja de manera independiente lo que se invirtió en la caldera versus lo que se viene realizando desde la ejecución de los mantenimientos, y esto se puede observar al no tener construidos planes de trabajo en gestión de activos y análisis de LCC, ya que estos nos servirán para saber cuándo se puede tomar la decisión de programar un mantenimiento basándonos en el modelo de Weibull hasta un overhaul o reemplazar el activo debido a los comportamientos de los demás costos que se vienen generando.

## 8. Referencias

- ACIEM. (2021). Diagnóstico de la gestión de activos y mantenimiento en Colombia, 1(3). [https://www.capacitacion.aciem.org/Especiales\\_Revista/2021/Jul\\_21/Revista-ACIEM-142-pag-69-76.pdf](https://www.capacitacion.aciem.org/Especiales_Revista/2021/Jul_21/Revista-ACIEM-142-pag-69-76.pdf)
- ISO, ISO 55000 “Gestión de activos. Aspectos generales, principios y terminología”, Ginebra (Suiza), 2014.
- Ellmann, H. (2017, 5 de septiembre). Gestión de activo y ciclo de vida. Visión industrial. <https://visionindustrial.com.mx/industria/operacion-industrial/gestion-de-activos-y-ciclo-de-vida>
- Mora Gutiérrez, A. (2009). *Mantenimiento, planeación, ejecución y control*. (1.<sup>a</sup> ed.). Alfaomega
- Mantenimiento y gestión de activos futuro de las empresas. (2015, 15 de mayo). El tiempo. <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/DR-914861> Asociación Española de Normalización, UNE-EN 60300-3-3 Gestión de la confiabilidad. Parte 3-3: Guía de aplicación. Cálculo de costos del ciclo de vida. 2017.
- Barringer, Paul. *Life Cycle Cost & Reliability for Process Equipment. 8th Annual ENERGY WEEK Conference & Exhibition, 1997.*
- Organización Internacional de Normalización. ISO 55000 *Asset management -- Overview, principles and terminology*, 2014.
- Organización Internacional de Normalización. ISO 15663 *Petroleum, petrochemical and natural gas industries—Life cycle costing*, 2001.
- Organización Internacional de Normalización. ISO/TS 55010 *Asset management -- Guidance on the alignment of financial and non-financial functions in asset management*, 2019.
- Schneiderova, R. (2014). *Life Cycle Cost optimization within decisions making on alternative designs of public buildings*. Creative Construction conference 2014 (págs. 454-463). Elsevier.
- Urbina, Gabriel Baca. *Fundamentos de Ingeniería Económica*. 4.a ed., 2007.
- Wahl, M., & Brück, R. (2007). *Controlling the Design Process for minimal Life Cycle Cost*. IEEE Xplore.
- Wolff, S., Seidenfus, M., Brönnner, M., & Lienkamp, M. (2021). *Multi-disciplinary design optimization of life cycle eco-efficiency for heavy-duty vehicles using a genetic algorithm*. Journal of Cleaner Production.
- Woodhouse, J. (1991). Turning engineers into businessmen. 14th National Maintenance Conference, London.

- 
- Markeset, T, Kumar, U. (2001). R&M and Risk-Analysis Tools in Product Design to Reduce Life-Cycle Cost and Improve Attractiveness. Proceedings of the Annual Reliability and Maintainability Symposium, 22-25 January, Philadelphia. p. 116-22.
- Woodhouse, J. (1993). Managing Industrial Risk. Chapman Hill Inc, London, 200-241.
- Parra, C, Crespo, A. (2019). Técnicas de Análisis de costos de Ciclo de Vida, Utilizadas para Justificar la aplicación de Herramientas de Optimización de Mantenimiento, propuesta por la Industria 4.0. Researchgate. <https://www.researchgate.net/publication/342991620>
- Cañaverall-Vargas, C; Heredia, D. (2017). Desarrollo de una Metodología para Correlacionar Técnicas de Análisis en Confiabilidad con los Ciclos de Vida y la Gestión de Activos [Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica de Pereira].
- Cerquera, H, Berrantes, J. (2016). Gestión de Activos Enfocado hacia la Confiabilidad o Determinación del TPEF (Tiempo promedio entre fallas en equipos y/o sistemas [Tesis de pregrado, Universidad ECCI].
- Pérez, A, Carrasquilla, E. (2013). Costoso del Ciclo de Vida [Tesis de Postgrado, Universidad Eafit de Colombia].
- Mosquera, A. (2019). Análisis del costo del ciclo de vida para determinar los factores más influyentes en la operación y mantenimiento en un aerogenerador. Caso “Proyecto Eólico Minas de Huascachaca [Tesis de Postgrado, Para la obtención del título de Magister, Universidad Azuay Cuenca Ecuador].
- Reyes, F. (2018). Determinación del reemplazo de la flota de cargadores frontales komatsu wa-380-6 de la empresa construcción y administración s.a. mediante la aplicación del análisis del costo de ciclo de vida (LCC) y el cálculo de la confiabilidad basada en la distribución de fallas weibull [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Trujillo].
- Smith, A, Hinchcliffe, G. (2004). *RCM-Gateway to World Class Maintenance*. El sevier
- Moubray, J. (2000). *Reability-Centred Manintenance (RCM)*. (2.<sup>a</sup> ed.). Aladon LLC
- Orrego Barrera, J. y Silva Ardila, P. (2016). *Confiabilidad en la práctica*. (2.<sup>a</sup> ed.).
- Organización Internacional de Normalización. *ISO 3010 gestión del riesgo*.2013
- Parra, C, Crespo, A. (2020). Técnicas de Auditoría aplicadas en los procesos de Gestión del Mantenimiento y de la confiabilidad. <https://www.researchgate.net/publication/349505815>.