

**Análisis del Costo del Ciclo de Vida a una Caldera Piro-tubular en empresa caso de estudio sector de Biocombustible.**

Edward Sebastián Gil Acevedo

Dirección de posgrados Universidad ECCI  
Especialización en Gerencia de Mantenimiento

Director de trabajo de grado

Fred Geovanny Murillo

Bogotá, enero de 2023

## **Dedicatoria**

Agradezco a Dios por brindarme de sabiduría, oportunidades y mucha salud, a mis queridos padres Martin Antonio Gil Molina y Ligia Acevedo Forero con su apoyo constante en esta etapa de la vida, a mis hermanas Stefany Gil Acevedo y Flor Gil Acevedo por llenarme de entusiasmo y energía, que siempre han estado a mi lado en todas las circunstancias.

## **Agradecimientos**

Al director del proyecto, el ingeniero Fred Geovanny Murillo, por la orientación y la dedicación en los diferentes desafíos del trabajo, especialmente en la parametrización de los costos.

Al director de confiabilidad Danny Rodríguez Monsalve, por su constante participación y revisión en los avances y logros obtenidos en el trabajo.

Al ver el resultado logrado con este ambicioso proyecto, solamente se me ocurre una palabra: ¡Gracias!

## Introducción

La administración del mantenimiento ha evolucionado a lo largo de los años, siendo una herramienta fundamental para el direccionamiento estratégico en las organizaciones, garantizando alta disponibilidad, confiabilidad en los procesos productivos. En la búsqueda de las organizaciones de ser más competitivas en el entorno vinculan prácticas en gestión de activos, de manera que exploran actividades coordinadas para crear valor a partir de sus activos, es por eso, que presente trabajo de grado busca analizar los costos asociados al ciclo de vida de una caldera pirotubular de una empresa del sector de Biocombustibles.

En el desarrollo del documento se estructura cuatro objetivos, en primera instancia se describen las características técnicas y operación de la caldera pirotubular, donde se mencionan la jerarquía de activos críticos que la componente, como segunda medida, se estructura los costos de los activos asociados a su adquisición e instalación CAPEX, seguidamente su operación y mantenimiento OPEX, como tercera medida, se determinan las herramientas que hay en la literatura para estimar el ciclo de vida de los activos, seleccionando la herramienta financiera denominada el Costo Promedio Ponderado de Capital (WACC), y finalmente como última medida, se realiza el análisis del ciclo de vida de una caldera pirotubular caso de estudio, identificado un punto óptimo de reposición basado en el flujo de ingresos y egresos del activo.

## Tabla de contenido

Resumen .....	9
1 Título de la investigación. ....	11
2 Problema de investigación. ....	11
2.1 Descripción del problema. ....	11
2.2 Planteamiento del problema. ....	13
3 Objetivos. ....	13
3.1 Objetivo general. ....	13
3.2 Objetivos específicos. ....	13
4 Justificación y delimitación.....	14
4.1 Justificación.....	14
4.2 Delimitación. ....	15
4.3 Limitaciones. ....	15
5 Marco conceptual. ....	16
5.1 Estado del arte. ....	16
5.1.1 Estado del arte nacional.....	17
5.1.2 Estado del arte internacional.....	22
5.2 Marco teórico. ....	30
5.2.1 Mantenimiento.....	30
5.2.2 Tipos de mantenimiento.....	33
5.2.3 Presupuesto de mantenimiento. ....	35
5.2.4 ¿Qué es una Caldera?.....	36
5.2.5 Matemática financiera. ....	40
5.2.6 Importancia de la gestión de activos en las actividades de mantenimiento. ....	45
5.2.7 Ciclo de vida de un activo.....	46
5.3 Marco normativo y legal. ....	50
6 Marco metodológico. ....	52
6.1 Recolección de la información. ....	52
6.1.1 Tipo de investigación.....	52
6.1.2 Fuentes de obtención de la información. ....	53
6.1.3 Herramienta.....	54
6.1.4 Metodología. ....	55
6.1.5 Información recopilada.....	56

6.1.6	Descripción Caldera Piro tubular .....	56
6.1.7	Análisis de la información .....	67
6.1.8	Tipos de mantenimiento realizados caldera piro tubular. ....	67
6.1.9	Paradas de planta programadas .....	68
6.1.10	Paradas de planta no programadas .....	70
6.1.11	Disponibilidad mecánica sistema de generación de vapor .....	72
6.1.12	Costos sistema de generación de vapor .....	72
6.2	Propuesta solución .....	73
6.2.1	Anualización de costo .....	74
6.2.2	Costos de adquisición Ca y Costo de instalación Cin .....	75
6.2.3	Costos de operación Co.....	76
6.2.4	Costo de energía Ce.....	81
6.2.5	Costos de mantenimiento Cm .....	83
6.2.6	Costo de tiempo perdido Ctp.....	93
6.2.7	Costos de dar de baja Cdb.....	94
6.2.8	CAPEX y OPEX .....	96
6.3	Cálculo del Ciclo de Vida del Activo .....	98
6.3.1	Análisis CAPEX y OPEX ciclo de vida jerarquía de activos.....	99
6.3.2	Análisis ciclo de vida jerarquía de activos mediante el CAUE .....	105
7	Impacto esperado y alcanzados .....	112
7.1	Impacto esperado .....	112
7.2	Impacto alcanzado .....	113
8	Análisis financiero .....	114
8.1	Costo de implementación .....	114
8.2	Utilidad Esperada.....	115
8.3	Retorno de la inversión .....	115
9	Conclusiones y recomendaciones .....	116
9.1	Conclusiones .....	116
9.2	Recomendaciones.....	117
10	Bibliografía .....	118

### Tabla de figuras

Figura 1. Presupuesto CAPEX y OPEX en el tiempo.....	36
Figura 2. Caldera acuotubular .....	39
Figura 3. Caldera piro tubular de dos pasos de humos.....	40
Figura 4. Costos asociados al Ciclo de Vida de un Activo .....	49
Figura 5. Planta de generación de vapor.....	57
Figura 6. Caldera pirotubular caso de estudio .....	58
Figura 7. Vista frontal caldera detallada.....	63
Figura 8. Proceso de generación de vapor .....	65
Figura 9. Esquema de del proceso HMI generación de vapor detalle de variables .....	66
Figura 10. Tipos de mantenimientos realizados a la caldera pirotubular.....	68
Figura 11. Paradas de planta presupuestadas VS ejecutadas.....	69
Figura 12. Paradas de planta no programadas .....	70
Figura 13. Disponibilidad mecánica del sistema de generación de vapor. ....	72
Figura 14. Costos en repuestos y servicios sistema de generación de vapor. ....	73
Figura 15. Organigrama de mantenimiento. ....	88
Figura 16. Grafica CAPEX VS OPEX caldera B-13001 .....	100
Figura 17. CAPEX VS OPEX parilla viajera BPV-13001 .....	101
Figura 18. Grafica CAPEX y OPEX Motorreductor MR-13019 .....	102
Figura 19. Grafica CAPEX y OPEX Ventilador tiro forzado VTF-13001 .....	103
Figura 20. CAPEX y OPEX Motor ventilador tiro forzado MVT-13001.....	104
<b>Figura 21. Grafica Costo del Ciclo de Vida caldera B-13001 .....</b>	<b>106</b>
Figura 22. Costo del ciclo de vida parilla BPV-13001 .....	108

Figura 23. Costo del Ciclo de vida motor reductor mr-13019.....	109
Figura 24. Costo del ciclo de vida ventilador tiro forzado VTF-13001.....	110
Figura 25. Costo del Ciclo de vida motor ventilador MTV-13001 .....	111

### **Tablas de tablas**

Tabla 1. Clasifica las calderas según diferentes parámetros y necesidades. ....	38
Tabla 2. Definiciones de análisis del costo de ciclo de vida de un activo. ....	46
Tabla 3. Línea del tiempo de las postulaciones del cálculo del ciclo de vida. ....	48
Tabla 4. Marco normativo y legal .....	51
Tabla 5. Ficha técnica caldera pirotubular. ....	56
Tabla 6. Plan de mantenimiento caldera JCT .....	58
Tabla 7. Actividades de parada de planta no programada en el tiempo.....	71
Tabla 8. jerarquía de activos caldera pirotubular .....	74
Tabla 9. Tasas equivalentes.....	75
Tabla 10. Detalle costos de instalación y adquisición.....	76
Tabla 11. Detalle costos de mano de obra operación .....	77
Tabla 12. Consolidado de costos de mano de obra M.O.D operación .....	78
Tabla 13 Mano de obra de producción anualizado. ....	79
Tabla 14. Desagregación de costos de producción y de mano operativa caldera pirotubular .....	80
Tabla 15. Descripción de costo anualizados de operación jerarquía de activos.....	81
Tabla 16 detalle de costos de energía por activo.....	82
Tabla 17. Costos de energía en la jerarquía de activos .....	82

Tabla 18. Detalle costos de mano de obra de mantenimiento. ....	83
Tabla 19. Consolidado de costos de mano de obra M.O.D mantenimiento. ....	84
Tabla 20. Descripción de tiempos muertos.....	85
Tabla 21. Costos de mantenimiento anualizado.....	86
Tabla 22. Costo administrativo Salarios .....	89
Tabla 23. Anualización de costo administrativos .....	89
Tabla 24. Costos administrativos Jerarquía de activos .....	90
Tabla 25. Costos totales de mantenimiento preventivo.....	90
Tabla 26. Costos de mantenimiento correctivo.....	92
Tabla 27. Costos de no disponibilidad en la jerarquía de activos caldera piro tubular. ....	94
Tabla 28 Costos de disposición de la jerarquía de activos. ....	95
Tabla 29. Consolidado CAPEX y OPEX jerarquía de activos .....	97
30. Vida útil por clase de activo para estivar su ciclo de vida.....	98
Tabla 31. Costos de implementación.....	114
Tabla 32. Flujo de caja del proyecto .....	115

## Resumen

La presente propuesta está enfocada en analizar el costo del ciclo de vida de una caldera pirotubular tomando como caso de estudio de una empresa del sector de biocombustibles, con la finalidad de gestionar todos los costos asociados al activo, para la toma de decisiones estratégicas en el área de mantenimiento, maximizando el retorno sobre la inversión del activo y reducir el coste del ciclo de vida, para alcanzar el cumplimiento del plan estratégico de la organización.

Se empleo el modelo LCC Life Cycle Cost que busca analizar todos los costos asociados al activo en su ciclo de vida, el cual se identifica el punto de reposición optimo a partir de los ingresos y egresos del activo, para ello se empleó la herramienta financiera denominada el Costo Promedio Ponderado de Capital (WACC).

### **Palabras claves:**

Caldera pirotubular, Gestión de activos, Ciclo de Vida de un Activo - Modelo LCC y Estrategia de Mantenimiento, WACC.

### **Abstract**

This proposal is focused on analyzing the cost of the life cycle of a fire tube boiler taking as a case study a company in the biofuels sector, in order to manage all the costs associated with the asset, for strategic decision making in the maintenance area, maximizing the return on investment of the asset and reducing the cost of the life cycle, to achieve compliance with the strategic plan of the organization.

The LCC Life Cycle Cost model was used, which seeks to analyze all the costs associated with the asset in its life cycle, which identifies the optimal replacement point based on the income and expenses of the asset, for which the financial tool called the Weighted Average Cost of Capital (WACC).

#### **Keywords:**

Fire tube boiler, Asset Management, Asset Life Cycle - LCC Model and Maintenance Strategy, WACC.

## **1 Título de la investigación.**

Análisis del Costo del Ciclo de Vida a una Caldera Pirotubular en empresa caso de estudio sector de Biocombustible

## **2 Problema de investigación.**

### **2.1 Descripción del problema.**

En la actualidad el biocombustible es demandado según el porcentaje de mezcla de Diesel con Biodiésel para automotores que operen con este combustible, en Colombia dicho porcentaje es establecido por el Gobierno Nacional a través del Ministerio de Minas y Energía (MinMinas), donde en los últimos años ha pasado de B5 en el 2008 a B12 en el 2021, lo que indica una mezcla con un porcentaje del 12% de biodiésel y 88% de diésel convencional (MinMinas, 2021). Por lo anterior, la empresa caso de estudio del sector energético de Biocombustibles, ha venido ampliando la capacidad instalada en su planta de producción para cumplir la demanda del mercado, conforme a lo establecido por las directrices del Gobierno nacional. En ese proceso de búsqueda de aumentar la productividad, reducción de costos, mejorar la calidad y extender la vida útil de sus activos, surge las alternativas aplicar gestión de activos, que surge de la norma internacional ISO 55001:2014 y que en uno de sus pilares busca que las organizaciones gestionen de forma adecuada sus activos físicos dado les ventaja competitiva frente a la competencia.

Una característica de la norma que se puede contemplar en este trabajo de grado es el análisis de todos los gastos asociados durante toda la vida del activo, desde su adquisición hasta su disposición, con la finalidad de alcanzar el cumplimiento del plan estratégico de la organización (Guidi, 2017). Esto ha mostrado que la empresa caso de estudio, por el crecimiento de la demanda de biocombustible incrementa el número de activos en la planta, a raíz de esto se ve la necesidad de incorporar procesos estratégicos en el área de mantenimiento que favorezcan la reposición estratégica a partir de los costos asociados a los activos.

La planta de Biocombustibles se encuentra ubicada en Facatativá Cundinamarca, municipio que presenta una temperatura media de 14 °C dada su altitud, por lo que se requiere llevar la materia prima desde su abastecimiento de 30-50°C hasta el proceso de refinación a 200°C, de lo contrario el producto se empasta obstruyendo los procesos mecánicos e incumpliendo con los clientes, por ello uno de los activos más representativos para la producción de biodiesel es el sistema de generación de vapor, la empresa cuenta con una caldera pirotubular de 1.200 BHP, la cual es fundamental para el proceso de generación de biodiesel a partir del aceite crudo de palma, esta permite mantener en estado líquido el producto mediante el intercambio de calor en diferentes puntos.

Es por esto, que el presente trabajo busca aplicar el modelo del costo de ciclo de vida a la caldera pirotubular de la empresa caso de estudio de sector de biocombustibles, para analizar, una reposición estratégica basada en sus costos.

## **2.2 Planteamiento del problema.**

Teniendo en cuenta el problema descrito anteriormente, se formula la siguiente pregunta: ¿Qué variables en la gestión de activos habrá que tener en cuenta en el análisis del ciclo de vida de una caldera pirotubular tomada como caso de estudio, y de qué manera dichos aportes fortalecerán la toma de decisiones en el área de mantenimiento?

## **3 Objetivos.**

### **3.1 Objetivo general.**

Desarrollar el análisis financiero del costo del ciclo de vida a una caldera pirotubular en una empresa caso de estudio del sector de biocombustible, para optimizar los procesos de toma de decisiones asociados a la misma.

### **3.2 Objetivos específicos.**

Describir las características de operación actual de la caldera pirotubular caso de estudio en el suministro de vapor.

Realizar el análisis de los costos de adquisición e instalación CAPEX y operación y mantenimiento OPEX de la caldera pirotubular caso de estudio.

Determinar las herramientas y técnicas para estimar el ciclo de vida de los activos en la gestión de mantenimiento.

Realizar el análisis del ciclo de vida de una caldera pirotubular, tomando como caso de estudio del sector de biocombustibles.

## **4 Justificación y delimitación.**

### **4.1 Justificación.**

La empresa caso de estudio se encuentra en el sector de producción de biocombustibles, tiene como actividad principal la producción de biodiesel certificado a partir de aceite crudo de palma mediante procesos continuos de gran calidad, ubicada en el Terminal de Combustibles Sabana Mancilla Facatativá – Cundinamarca. La empresa hace parte de la Federación Nacional de Biocombustibles en Colombia, es considerada como una de las plantas más modernas del país con mayor capacidad instalada, capaz de producir 600 toneladas día de biodiesel.

La empresa cuenta con un departamento de mantenimiento robusto, el cual tiene como objetivo estratégico garantizar una alta disponibilidad y confiabilidad en los activos del proceso productivo, mediante la ejecución de las ordenes de trabajo de forma oportuna correspondiente al plan de mantenimiento, cumpliendo los parámetros de calidad establecidos por el área, al menor costo e impacto en las personas, en el ambiente y en las máquinas; Por lo cual se deben cumplir los KPIs del área, garantizando que la producción de biodiésel no se vea afectada por fallas en el proceso o por las operaciones de mantenimiento preventivo.

En la gestión estrategia de mantenimiento de la empresa, existen actualmente oportunidades de mejora en la gestión de activos desde su concepción de adquisición hasta su disposición final, donde se involucra el balance de los costos que componen al activo, es por ello, que la presente propuesta pretende analizar el costo de ciclo de vida en uno de los activos representativos de la organización, con el propósito de realizar un análisis financiero, asegurando el retorno de la inversión, ayudando a la toma de decisiones para alargar la vida del activo,

mitigando la materialización de los riesgos asociados a fallas y haciendo más acertado un posible escenario de reposición de activos bajo el capital invertido,

#### **4.2 Delimitación.**

La ubicación de la planta de biodiésel es en Colombia, está ubicada Terminal de Combustibles Sabana Mancilla Facatativá complejo de Ecopetrol – Cundinamarca. La investigación se realiza en los meses de junio del 2021 a diciembre del 2022.

#### **4.3 Limitaciones.**

Limitaciones de acceso a la información referente al activo caso de estudio, dado que existen políticas de manejo de la información y se administran confidencialmente, por lo que se requiere gestionar autorización del uso la información.

## 5 Marco conceptual.

La recopilación de información se realiza en distintas fuentes secundarias, se parte de cuatro ejes como punto de partida relacionados con el problema de investigación, Los cuales son: Ciclo de vida de un activo en sus ciclos en inglés (LCC), gestión de activos, Gestión de mantenimiento, presupuesto en mantenimiento.

### 5.1 Estado del arte.

Recopilación de información en distintas fuentes nacionales como internacionales para describir el estado del arte del objeto de estudio, se parte de cuatro ejes como punto de partida relacionados con el problema de investigación, los cuales son: Ciclo de vida de un activo LCC, Evaluación financiera, Costos de mantenimiento y Presupuesto CAPEX y OPEX, se realizará la búsqueda de información por medio de ecuaciones de búsqueda con operadores booleanos, los cuales permiten conectar de forma lógica los conceptos o grupos de términos de interés para la investigación, se muestran a continuación las ecuaciones de búsqueda:

- “LCC” AND “Financiera” AND “mantenimiento”
- “LCC” AND “Mantenimiento”
- “LCC” AND “Presupuesto” OR “CAPEX” OR “OPEX”
- “LCC” AND “Costos”

Las bases de datos son: Scopus, Google Scholar, repositorio Universidad ECCI y junto con bibliotecas de universidades nacionales e internacionales.

### **5.1.1 Estado del arte nacional.**

#### **5.1.1.1 Análisis del ciclo de vida de la planta térmica didáctica de la Universidad ECCI en las etapas de operación y mantenimiento.**

En el año 2015 los autores Andrés Guevara y Miguel Orozco, desarrollaron como trabajo de grado en la Universidad ECCI la investigación titulada “Análisis del ciclo de vida de la planta térmica didáctica de la Universidad ECCI en las etapas de operación y mantenimiento”, en ella, los autores presentan un plan de mantenimiento para el activo caso de estudio, estructurando un cronograma de actividades detallando los recursos necesarios para realizar las actividades de mantenimiento y los respectivos costos detallados asociados mano de obra, repuestos, consumibles y herramienta. (Guevara & Orozco, 2015). El trabajo citado sirve a la presente investigación como guía para estructurar los costos asociados al mantenimiento preventivo.

#### **5.1.1.2 Aproximación del impacto de las NIIF en mantenimiento industrial, medición y reconocimiento de activos tangibles.**

En el 2012 el autor Mario Castañeda, propuso como tesis de maestría en la Universidad EAFIT una “Aproximación del impacto de las NIIF en mantenimiento industrial, medición y reconocimiento de activos tangibles”, el autor propone la aplicabilidad de las Normas Internacionales de Información Financiera en un modelo de costeo LCC y la gestión del mantenimiento, lo aplica con estudio de caso del sector de centrales hidráulicas de generación de energía eléctrica (Castañeda, 2012). Este trabajo sirve como estructura teórica en la formulación de cálculos del Costo del Ciclo de Vida de un activo.

### **5.1.1.3 Costeo del Ciclo de Vida de un activo proyecto unidad constructiva.**

Se desarrollo en el año 2013, un trabajo de maestría titulado “Costeo del Ciclo de Vida de un activo proyecto unidad constructiva" por los autores Álvaro Pérez y Eduardo Carrasquilla en la Universidad EAFIT, en trabajo consistió en analizar la alternativa de remplazo o modernización de una unidad constructiva, a partir del cálculo de la edad económica del activo caso de estudio, se logró concluir que no justifica renovar el activo dado a los altos costos de cambio y aun puede prestar servicio unos años más y la no disponibilidad del activo en unos periodos de tiempo (A. Perez & Carrasquilla, 2013). El trabajo en mención aporta una guía metodología del LCC, se tomará como guía de referencia para la estructuración de los costos del activo a estudiar.

### **5.1.1.4 Cuantificación del efecto del período de diseño en el costo de ciclo de vida de pavimentos rígidos y flexibles, aplicado al caso bogotano.**

Se desarrollo en el 2013 un trabajo de grado del departamento de Ingeniería Civil, titulado “Cuantificación del efecto del período de diseño en el costo de ciclo de vida de pavimentos rígidos y flexibles, aplicado al caso bogotano” en la Universidad de los Andes por el autor Fernando Torres, en el trabajo citado se analizó el efecto del periodo de diseño en el LCC en las estructuras de pavimento flexibles y rígidas en 5 vías puntales de Bogotá, Se logró estimar una vida útil entre 25 a 30 años en pavimentos flexibles y 30 a 35 años en pavimentos rígidos (Torres, 2013). La metodología utilizada para calcular el LCC fue con estadística descriptiva, sirve de referenciar para en el desarrollo del segundo objetivo dado su alcance.

#### **5.1.1.5 Diseño de políticas de reemplazo y mantenimiento de aires acondicionados de expansión directa basadas en programación dinámica y análisis de ciclo de vida de activos.**

En el 2019, los autores Ramiro Bruges y César Augusto, desarrollaron con trabajo de grado un “Diseño de Políticas de Reemplazo y Mantenimiento de Aires Acondicionados de Expansión Directa Basadas en Programación Dinámica y Análisis de Ciclo de Vida de Activos” en la Universidad del Norte de Barranquilla, en ella, desarrollaron un modelo matemático que relaciona las variables de riesgo, desempeño y costo asociados, posteriormente lograron plantear políticas de reemplazo en el activo de caso de estudio (Bruges & Duarte, 2019). El trabajo citado al tener un alcance de programación dinámica se desvía como alternativa metodológica para el desarrollo del presente trabajo.

#### **5.1.1.6 Estimación de costos del ciclo de vida para la estabilización de vías terciarias en Colombia con subproductos industriales.**

En el 2019 en la Universidad de Antioquia se realizó un artículo nombrado “Estimación del Costos del Ciclo de Vida para la estabilización de vías terciarias en Colombia con subproductos industriales” por los autores Yris Morales y Laura Martínez, en el proponen analizar tres productos industriales analizando los costos del ciclo de vida para la estabilización de un tramo de vía en Urrao, se consideraron factores técnicos, geográficos y de disponibilidad de materiales, el cual concluyeron que el costo de estabilización es muy sensible a la ubicación, lo que hace que los costos de transporte sean muy costosos (Martínez & Olaya, 2019), este trabajo muestra que el LCC puede ser utilizado en diferentes ramas de la ingeniería aplicadas en el enfoque financiero.

#### **5.1.1.7 Evaluación financiera de las dos alternativas que consisten en: reparación o adquisición de un equipo nuevo para la puesta en servicio de la unidad compresora no 1 del sistema de inyección de gas Lift del Campo Rio Zulia.**

Los autores Lucy Cely León, Ronald Aparicio y Héctor Moisés Gallo Rey, en el año 2011, desarrollaron una monografía la cual fue requisito para obtener el título como Especialistas en Gerencia de Recursos Energéticos, en la Universidad autónoma de Bucaramanga, nombrado “evaluación financiera de las dos alternativas que consisten en: reparación o adquisición de un equipo nuevo para la puesta en servicio de la unidad compresora no 1 del sistema de inyección de gas Lift del Campo Rio Zulia”, como la unidad compresora No1 del sistema de inyección gas Lift del Campo Río Zulia en el Catatumbo no se encontraba operando de manera óptima, realizaron un estudio tanto financiero como de oportunidad para elegir la mejor opción para la puesta en operación de la unidad compresora No1 entre reparar la unidad actual o adquirir una nueva, mediante una serie de criterios a nivel de impacto y riesgos, legal, técnico y financiero, comprobando que el costo del mantenimiento es el más influyente para el cálculo del valor presente neto en el análisis económico del costo del ciclo de vida de un activo. (LUCY et al., 2011). El trabajo estructura el punto de inflexión donde mantener es más costoso que reemplazar el activo, sirve como guía conceptual para el desarrollo del cálculo del ciclo de vida del activo del presente trabajo.

#### **5.1.1.8 Grado de desarrollo del LCC en un sector industrial.**

En el año 2006, el autor Fernando Echeverri Sanz, desarrollo una monografía para optar por el título de Especialista en Mantenimiento Industrial en la Universidad EAFIT nombrado “Grado de desarrollo del LCC en un sector industrial” en esta, el autor evalúa el grado de

desarrollo de los parámetros que se utilizan para calcular el Costo del Ciclo de Vida en un sector industrial del Valle de Aburrá, definiendo los conceptos fundamentales sobre LCC en cuanto a su funcionamiento, describe los criterios y parámetros que permiten el cálculo del LCC a partir de la estimación detallada y en el tiempo, los costos de adquisición y sostenimiento del mismo, a su vez revisa los diferentes sistemas de costeo y finaliza diciendo que su aplicación es casi nula debido a que no existen empresas que se encuentren en el nivel estratégico de mantenimiento (Sanz, 2006). El trabajo citado sirve como marco conceptual que fundamenta el cálculo del costo del Ciclo de Vida del Activo.

#### **5.1.1.9 Implementación de la matriz de criticidad en el área de equipos móviles y de elevación en la empresa Faismon SAS. y análisis del Costo del Ciclo de Vida en las grúas telescópicas**

En un informe de práctica académica “Implementación de la matriz de criticidad en el área de equipos móviles y de elevación en la empresa Faismon S.A.S. y análisis del costo del ciclo de vida en las grúas telescópicas” realizado por el autor Julián Andrés Muñoz palacio, en el año 2018, de la Universidad de Antioquia, expone que por medio de una evaluación de criticidad logra la identificación de los equipos móviles y de elevación críticos para la empresa según los parámetros establecidos por la norma internacional de gestión del riesgo ISO 31000 y las necesidades de la organización, realiza un análisis del costo del ciclo de vida útil de las grúas telescópicas e identifica la distribución de consumo de cada uno de estos equipos. (Muñoz, 2019). El trabajo citado muestra una relación con la norma ISO31000 e ISO51001 dando importancia a los riesgos en los costos asociados en la vida del activo, desde una perspectiva estratégica se empleará de forma implícita en el desarrollo del trabajo.

### **5.1.1.10 Optimización financiera de sistema de aire acondicionado para cuartos limpios**

Los autores Carlos Alberto Orozco Hincapié y Juan Carlos Castaño Sánchez de la Universidad Tecnológica de Pereira, realizaron la publicación de un artículo, en el año 2008, titulado “Optimización financiera de sistema de aire acondicionado para cuartos limpios”, en el que estudian los procesos de aire acondicionado para cuartos limpios mezclando más de una alternativa de diseño: el método de enfriamiento convencional con serpentín y el proceso de deshumidificación con materiales desecantes conocido como adsorción. Su hipótesis inicial es que la combinación de estos procesos en un diseño de aire acondicionado para espacios limpios presenta una reducción en los costos iniciales y consumo energético en el ciclo de vida del proyecto. la hipótesis la valido con un análisis comparativo de cuatro diseños configurados. (Hincapié et al., 2008). El trabajo cita relaciona el diseño de aires acondicionado bajo la optimización de los costos del ciclo de vida, como el enfoque es el diseño no se tendrá en cuenta para el desarrollo del presente trabajo.

## **5.1.2 Estado del arte internacional**

### **5.1.2.1 Análisis de Costo y Ciclo de Vida para la Reposición de un Motor de Gas Superior 16G825 y Compresor de Gas Worthington tipo OF6XH6 por un Motor a Gas Waukesha 7044 S5 – Compresor Superior MH64.**

Los autores Jenny Johanna Reyes Angarita y Mauricio Vargas Jerez de la Universidad de Sevilla, en 2019 publicaron su trabajo final para optar por la certificación ASME:, titulado “Análisis de Costo y Ciclo de Vida para la Reposición de un Motor de Gas Superior 16G825 y Compresor de Gas Worthington tipo OF6XH6 por un Motor a Gas Waukesha 7044 S5 –

Compresor Superior MH64” en este, los autores proponen aplicar la técnica denominada: Método de Análisis Costo Ciclo de Vida (ACCV), con el propósito de medir cuantitativamente la reposición de un motocompresor a gas de la estación compresora Santos del Campo Provincia de la Superintendencia de Mares de Ecopetrol S.A., en busca de optimizar financieramente aquellos sistemas realmente “importantes” que requieren reposición. Los resultados de los análisis obtenidos a partir de la metodología ACCV, demuestran que se pueden tomar decisiones más eficientes y con un menor grado de incertidumbre, en las actividades de asignación y distribución de recursos humanos, técnicos y económicos dentro del proceso (Reyes & Jerez, 2020). El trabajo citado es un caso de éxito de la aplicación del modelo Análisis del Costo del Ciclo de Vida para determinar la viabilidad financiera de remplazo.

#### **5.1.2.2 Análisis del ciclo de vida del sistema motriz del ventilador de una caldera de vapor.**

En el año 2015, los autores Joaquín Santos, Oscar Enrique Rodríguez y Leonardo Contreras de la Universidad Simón Bolívar (Caracas-Venezuela), publicaron un artículo denominado “Análisis del ciclo de vida del sistema motriz del ventilador de una caldera de vapor” en el los autores exponen la problemática presente en sistema de generación de vapor de Súper Octanos C.A. y evalúan el impacto en términos económicos que generaría remplazar el actual método de control con dámper en la succión, por un sistema de control por variación de velocidad o analizan el mantener el sistema actual realizando algunas modificaciones, en el propósito de ahorrar energía y poder manipular adecuadamente la entrada de aire a la caldera, proponiendo la evaluación de tres alternativas, las cuales se identificaran empleando el menor Valor Presente Neto (VPN) del Costo de Ciclo de Vida (CCV). Demostrando que la aplicación del análisis del costo del ciclo de

vida en el proceso de toma de decisiones permite la selección de los proyectos de inversión más rentables (Santos et al., 2015). El trabajo citado muestra que las herramientas financieras son útiles como sustento para tomar decisiones de compra y de remplazo de activos.

### **5.1.2.3 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”.**

El autor Paúl Fernando Mosquera Ávila, en el año 2018, en su trabajo de grado nombrado “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”” para optar por el título de Magister de Gestión de Mantenimiento en la Universidad del Azuay, Cuenca-Ecuador, estudia el costo del ciclo de vida (LCC) de un aerogenerador como herramienta de gestión que anticipe los costos asociados a la fase del ciclo de vida del activo, analiza la energía eólica y el modelo LCC basándose en la norma UNE-EN-60300-3-3 2009 y elabora un presupuesto para las fases de operación y mantenimiento del parque eólico que garantice la producción planificada de energía eléctrica para periodos determinados. Obteniendo que los principales costos son los generados por la inactividad de la central, la mano de obra para la operación y mantenimiento y los repuestos para mantenimiento correctivo (Santos et al., 2015), El trabajo citado sirve como referencia en la aplicación del Costo del Ciclo de Vida para la estimación del presupuesto de OPEX y CAPEX.

#### **5.1.2.4 Aproximación cualitativa al concepto de valor durante el ciclo de vida de un activo industrial.**

En el año 2013, se publicó un artículo titulado “Aproximación cualitativa al concepto de valor durante el ciclo de vida de un activo industrial” de los autores Antonio de la Fuente, Vicente González-Prida, Juan Gómez, Antonio Guillén, Antonio Sola, Adolfo Crespo, Carlos Parra de la Universidad de Sevilla, España, en este, proponen la definición de unas “dimensiones del valor” que pueden ser factorizadas y medidas con el fin de combinarlas en una única media semicuantitativa. Comparando cualitativamente los beneficios aportados por los activos presentes en un proceso industrial o empresarial y demostrando que pueden tener un gran impacto en los procesos complejos de toma de decisiones. Demuestran la influencia en la gestión de activos factores como el impacto en la producción, el ámbito social o el medioambiental (Fuente et al., 2013). El trabajo citado, buscan ampliar las variables del Costo del Ciclo de Vida, las variables propuestas al ser cualitativas y para el presente trabajo no se tiene una estructura de aproximación con la estadística, no se tendrá en cuenta para el desarrollo.

#### **5.1.2.5 Desarrollo y aplicación de un modelo de costo de ciclo de vida para un compresor incorporando aspectos de salud de activos.**

En 2020, el autor Pablo Pérez Guzmán Ingeniero Civil Mecánico de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, publicó su tesis de grado con el título “Desarrollo y aplicación de un modelo de costo de ciclo de vida para un compresor incorporando aspectos de salud de activos” en este, el autor diseña un modelo de Análisis de Costo de Ciclo de Vida para un compresor, que cuantifique el impacto del deterioro de los activos en la frecuencia de fallas. Cumplió los objetivos que planteo a través de la adaptación de la metodología de Índice de Salud

de Activos al activo de estudio, la cual uso como base para cuantificar el deterioro de un activo complejo y poder relacionar su estado a la tasa de fallas, por medio del modelo matemático propuesto por él (Pérez, 2020). En trabajo citado al estructurar un modelo de costos específico para un activo con base en sus fallas, se considera que no puede ser replicado en la caldera pirotubular.

#### **5.1.2.6 Evaluación estratégica, técnica y económica de un plan estratégico para la gerencia de mantenimiento en CODELCO división andina.**

En la tesis para optar al grado de magíster en gestión y dirección de empresas del autor Carlos Ariel Casanova Toledo, del año 2021 en la Universidad de Chile de Santiago de Chile que lleva por nombre “Evaluación estratégica, técnica y económica de un plan estratégico para la gerencia de mantenimiento en CODELCO división andina” en él se plantea la factibilidad estratégica, técnica y económica de un Plan Estratégico para la Gerencia de Mantenimiento en Codelco División Andina, en la que se propone aumentar en al menos 4,6 puntos la disponibilidad Sistémica de la planta Concentradora, medido al término de un plazo de 3 años. Presenta dos líneas de estudio, una en la que crea una estrategia que permita sostener los procesos operativos y de gestión de la gerencia de mantenimiento, con un flujo de procesos de valor mediante un mapa estratégico y un cuadro de gestión de indicadores para controlar la estrategia, y en el otro desarrollo un plan que permita levantar condiciones vulnerables en los activos, para devolver la función. Teniendo en cuenta la estrategia de mantenimiento de los activos, presupuesto, repuestos y componentes reparables, estrategia y mejoramiento. Aseverando que es factible estratégica, técnica y económicamente el estudio realizado, cumpliendo con cada condición satisfactoriamente (Utne, 2009). El trabajo citado muestra la proyección estratégica de mantenimiento en el tiempo, resaltando la optimización del presupuesto teniendo en cuenta los repuestos y los costos de

mantenimiento, en el presente trabajo no se plantearán estrategias de proyección, será más un diagnóstico.

#### **5.1.2.7 Integración del modelo de activos fijos del IGM a la información técnica de mantenimiento y financiera.**

La autora Myrian Soledad Basantes Viterl, en su monografía nombrada “Integración del modelo de activos fijos del IGM a la información técnica de mantenimiento y financiera” del Instituto de Altos Estudios Nacionales de la República del Ecuador, publicada en el año 2007, identifica en el Instituto Geográfico Militar la mejor alternativa para la gestión de mantenimiento, con un sistema completamente paramétrico y que sea a favor del usuario, que cuente con una gran versatilidad para adaptarse a cualquier tipo de actividad que sea una herramienta que ayude a reducir costos de mantenimiento y maximizar la disponibilidad de los bienes e instalaciones. Uniendo el módulo de control de activos fijos con el sistema administrativo financiero. Esta propuesta contribuyó a determinar costos reales que permiten tomar decisiones gerenciales adecuadas, se ajusten rendimientos y se utilicen correctamente los recursos (Basantes, 2007). El presente trabajo es tomado en referencia como caso de éxito en el cálculo del costo del ciclo de vida de manera escalable a cualquier tipo de activo.

#### **5.1.2.8 Metodología para calcular la frecuencia de reemplazo de las líneas de Crudo y Gas Off-Shore.**

En el año 2006, el autor Isaac E. Correa V., publicó un artículo denominado “Metodología para calcular la frecuencia de reemplazo de las líneas de Crudo y Gas Off-Shore”, en el, el autor propone determinar cuáles son los años de servicio de las líneas Sublacustre, el tiempo promedio

para fallar (TPPF), el tiempo promedio para reparar, tomando como referencia la estadística de falla, la probabilidad de falla y el riesgo en el tiempo, con el fin de establecer la frecuencia de reemplazo económicamente más rentable en términos de Valor Presente Neto (VPN). Utilizo la Metodología de Costo del Ciclo de Vida con el cual identifiqué riesgos potenciales, para establecer un plan de capacitación selectiva de certidumbre y crear acciones necesarias para mitigar el riesgo de reparación u optimización de las líneas de pozo. Demostrando que este método facilita la toma de decisiones a los responsables de la gestión de activos y minimiza los costos en el ciclo de vida de los activos (Correa, 2006). El trabajo citado estructura los pasos metodológicos para estructurar el Análisis del Ciclo de Vida de un Activo con herramientas financieras, la cual servirá como guía de referencia para el desarrollo de la propuesta.

#### **5.1.2.9 Sistema de gestión del mantenimiento industrial.**

El autor Enrique Miguel Rivera Rubio, en el año 2011, en su tesis para optar el título profesional de Ingeniero Industrial, nombrada “Sistema de gestión del mantenimiento industrial” para la Universidad Nacional Mayor de San Marcos en Lima- Perú, aborda implementar un Sistema de Mantenimiento industrial, que agrupa ciclo de vida, personas, instalaciones, enfatizando en equipos e infraestructura con los que cuentan las fábricas, empresas de mediana y/o pequeña envergadura. El fundamento teórico es soportado en la norma UNE-EN13460. El autor se basa en las experiencias de otros países como los europeos, para hacer una comparación y que a su vez los resultados se vean reflejados en la disminución del coste del mantenimiento. Demuestra oportunidades de mejora en los procesos, no solamente cubriendo el tema de Calidad, sino también el medio ambiental y la seguridad y salud en el trabajo con la implementación de un sistema de gestión (Enrique, 2011). El trabajo citado hace una interesante relación con la norma

UNE-EN13460 abordando la relación que tienen con el costo del ciclo de vida del activo, sirve como marco de referencia en la normatividad.

#### **5.1.2.10 Técnicas de costes del ciclo de vida para la toma de decisiones en la optimización del mantenimiento. caso de estudio: industria del petróleo y gas.**

En el artículo de investigación que lleva por título “Técnicas de costes del ciclo de vida para la toma de decisiones en la optimización del mantenimiento. caso de estudio: industria del petróleo y gas” publicado en el año 2020, de los autores Carlos Parra, Adolfo Crespo-Márquez y Vicente González-Prida de la Universidad de Sevilla, España y los autores Pablo Viveros y Fredy Kristjanpoller de la Universidad Técnica Federico Santa María de Valparaíso, Chile, exploran el impacto de la fiabilidad en los costes totales del ciclo de vida y describen el modelo básico de tasa de fallo constante. Con el modelo Woodward buscan incluir durante la evaluación, la estimación de las consecuencias que podrían ser causados por los diversos eventos de fallo de un activo dentro de un sistema de producción. Para una empresa de la industria del petróleo y gas, proponen un caso de estudio en el que aplican el modelo de Woodward en la selección y reemplazo de un sistema de compresión donde contrastan el desempeño de un sistema tradicional versus un sistema basado en tecnología y herramientas de la industria 4.0. Optimizando la toma de decisiones dentro de los procesos requeridos para la compra y reemplazo de activos en la organización (Viveros Gunckel et al., 2020). El trabajo citado relaciona la herramienta que se implementara para el Cálculo del costo del ciclo de vida la cual se toma el trabajo como referencia, así mismo, muestra un enfoque alineado con la industria 4.0 que es el siguiente nivel de la estructuración de los costos asociados a los activos.

### **5.1.2.11 Costo del ciclo de vida (LCC) como herramienta para mejorar la sostenibilidad en la flota pesquera noruega.**

En la universidad Noruega de Ciencia y Tecnología (NTNU) la autora Ingrid Bouwer Utne expuso el presente artículo titulado “costo del ciclo de vida (LCC) como herramienta para mejorar la sostenibilidad en la flota pesquera noruega” publicado en el año 2008, con el objetivo de discutir la utilidad de la LCC como método para mejorar los diseños sostenibles de embarcaciones pesqueras para los armadores y mejorar las bases de decisión para la ordenación pesquera, infiriendo que el LCC está limitado por el uso de una unidad monetaria, la posible falta de datos confiables y las confusiones conceptuales, etc. El cálculo de los costos relacionados con los accidentes laborales fatales y las emisiones de gases de efecto invernadero es mucho más controvertido que el cómputo de costos tradicional. (Utne, 2009), En trabajo citado muestra que el método del costo del ciclo de vida puede ser empleado en pequeñas o grandes organizaciones. Siempre y cuando la información a analizar sea confiable y trazable.

## **5.2 Marco teórico.**

En el marco teórico se adoptan los conceptos científico y técnico, para el caso de esta investigación se tendrá en cuenta los siguientes enfoques: Mantenimiento, Gestión de activos Estrategia de mantenimiento, Ciclo de vida de un activo, como funciona una Caldera y conceptos de matemática financiera.

### **5.2.1 Mantenimiento.**

La mayoría de los autores afirman que el mantenimiento impacto desde los siguientes escenarios históricos en el tiempo: la revolución industrial, primera guerra mundial y segunda guerra mundial (Fernández Álvarez, 2018; Lourival, 1999; Varela Geis, 2018). “La evolución del

mantenimiento ha venido cambiando acorde a las necesidades de la industria y paralelo al avance tecnológico (J. Garcia et al., 2019), se puede agrupar en las siguientes etapas junto a las estrategias de gestión empleada:

#### **5.2.1.1 Primera generación.**

Nace desde la revolución industrial hasta 1950, en esta etapa las empresas estaban conformadas por grupos de personas que desempeñaban su rol en el área producción y a su vez en el área de mantenimiento para reparar y ajustar la maquina cuando ocurriera una falla, esto traía como resultado que no se requería personal calificado (J. Garcia et al., 2019). En este periodos de tiempo también la aborda la primera Guerra mundial, las maquinas eran sencillas y diseñadas para un solo propósito, la industria no estaba muy mecanizada, lo que hacía que las maquinas fueran confiables y fáciles de reparar (Fernández Álvarez, 2018), esto traía como resultados la utilización del mantenimiento correctivo.

#### **5.2.1.2 Segunda generación.**

Está segunda generación surge a partir de la Segunda Guerra Mundial, está ocasiona la necesidad de manufacturar productos de toda clase lo que llevo al aumento del sector de mecanizado y a la disminución de la mano de obra y con ellas las jornadas de trabajo, así mismo, se requerían cada vez maquinas más complejas ya que la industria dependía de ellas (J. Garcia et al., 2019). Por otro lado, surgió la concesión de que los fallos de las maquinas se podrían proveer, dando como resultado del concepto de mantenimiento preventivo. (Fernández Álvarez, 2018).

Con la creación del mantenimiento preventivo se busca la duración máxima de funcionamiento de los equipos, e implementando sistemas de planificación y control de actividades junto con la supervisión de los costos asociados, y a mediados de los años 70 se introducen herramientas informáticas y nuevas técnicas de control y calidad para el fin mencionado (Varela Geis, 2018).

#### **5.2.1.3 Tercera Generación.**

En la tercera Generación del mantenimiento por los años 80 se desarrollan metodologías de mantenimiento, tales como: Mantenimiento basado en Fiabilidad RCM, Mantenimiento Basado en condición CBM y Mantenimiento productivo total (Varela Geis, 2018), Se incorporo los análisis de causa Raíz y se empieza a hacer partícipe al personal de producción actividades diarias de mantenimiento. Cabe destacar que la industria militar, la aeroespacial y la nuclear en su rama industrial de generación de energía, son líderes en el desarrollo de tecnologías, metodologías de mantenimiento y normas (Varela Geis, 2018).

#### **5.2.1.4 Cuarta Generación.**

Está generación aparece en los primeros años 90, el cual contempla que el mantenimiento hace parte de la calidad Total “Mediante una adecuada gestión del mantenimiento es posible aumentar la disponibilidad al tiempo que se reducen los costos” (Mairena & Rojas, 2014, P.22), En esta generación el mantenimiento es basado en los riesgos alineado a las políticas de Seguridad y Salud en el Trabajo.

Las generaciones de mantenimiento anteriormente mencionadas se encuentran adoptadas por la historia, por otro lado, ha comenzado una cuarta generación industrial estructurando los procesos digitales, el cual el desarrollo de la tecnología y la aplicación de esta revolución en mantenimiento se ve con gran potencial que abrirá una quinta generación de mantenimiento (O. Garcia, 2016),

## **5.2.2 Tipos de mantenimiento**

### **5.2.2.1 Mantenimiento Correctivo.**

Es el conjunto de actividades que permite la recuperación, restauración o renovación de una infraestructura o planta física que presente fallas uno o varios equipos, piezas o materiales (Sánchez, 2017), ya que como indica Valdivieso (2010), si no se presenta ninguna falla, se tendrá que esperar hasta que se produzca una. Adicionalmente, existe dos tipos, el mantenimiento correctivo rutinario, el cual no afecta en gran medida a los sistemas, pero presenta fallas y el mantenimiento correctivo de emergencia, que como indica su nombre debe ser corregido rápidamente (Valdivieso, 2010)

### **5.2.2.2 Mantenimiento Preventivo.**

Según Sánchez (2017), establecen que son todas las acciones ejecutadas periódicamente en un espacio y tiempo específico donde se realizan revisiones, modificaciones y mejoras, con el propósito de anticipar posibles fallas en los equipos, sistemas e instalaciones y así, evitar la interrupción de los procesos productivos o desempeño normal del elemento dañado.

Por otro lado, el Mantenimiento Basado en condición – CBM, establece que debe realizarse cuando se identifique disminución en el rendimiento por medio del monitoreo de las condiciones a tiempo real del activo, se diferencia del mantenimiento preventivo en la periodicidad en el tiempo ya que se realiza según la necesidad, más no por una programación.

### **5.2.2.3 Mantenimiento Predictivo.**

Es el mantenimiento más tecnológico ya que requiere efectuar una serie de mediciones o ensayos no destructivos con equipos sofisticados, los cuales miden variables físicas como la temperatura, vibración, consumo energético, entre otras; sus variaciones son indicativos de problemas que pueden reflejar el estado y la operatividad del equipo (García, 2003).

Lo anteriormente mencionado, se realiza sin la necesidad de interrumpir la producción ya que su propósito es inspeccionar mediante el seguimiento del funcionamiento de la maquinaria, ya que, si se llega a presentar algún tipo de cambio o variación, se inicia a evaluar las posibles causas con el fin de evitar el fallo (Sánchez, 2017).

### **5.2.2.4 Mantenimiento cero horas (Overhaul).**

Según García, (2003), es el conjunto de tareas programadas que, a través de su ejecución, permite dejar el equipo a cero horas de funcionamiento, es decir, como si el equipo fuera nuevo. Por lo cual, se debe sustituir o reparar todos los elementos sometidos a desgaste y así, se asegura o prolonga el buen funcionamiento por un tiempo más prologado.

#### **5.2.2.5 Mantenimiento en uso.**

Es el mantenimiento básico de un equipo en cual consiste en una serie de tareas elementales como la toma de datos, inspecciones visuales, limpieza, lubricación, reapriete de tornillos, ente otros. Este tipo de mantenimiento es la base del Mantenimiento Productivo Total o como sus siglas en ingles TPM (García, 2003).

#### **5.2.3 Presupuesto de mantenimiento.**

Es una acción dirigida a cumplir un objetivo estimado, se expresa en valores y en términos financieros, este se estructura en un determinado tiempo y bajo las condiciones previstas de la operación de la organización (Rodriguez, 2007), una de sus funciones principales servir como guía para el control de los costos durante la ejecución de mantenimiento, se realiza una comparación de lo real con lo presupuestado, con la finalidad de lograr los resultados esperados de la operación, se clasifica en dos grupos generales Capex y Opex, se describen a continuación.

##### **5.2.3.1 CAPEX.**

CAPEX en sus siglas en ingles Capital Expenditure, hace referencia a los gastos de capital o bienes de capital, corresponde al presupuesto destinado a adquirir, mejorar o rehabilitación de activos que maximicen la utilidad de la compañía (Rodriguez, 2007), Complementario a la definición anterior, se entiende como la inversión necesaria que requiere hacer la compañía para mantener la operación actual (A. Perez & Carrasquilla, 2013)

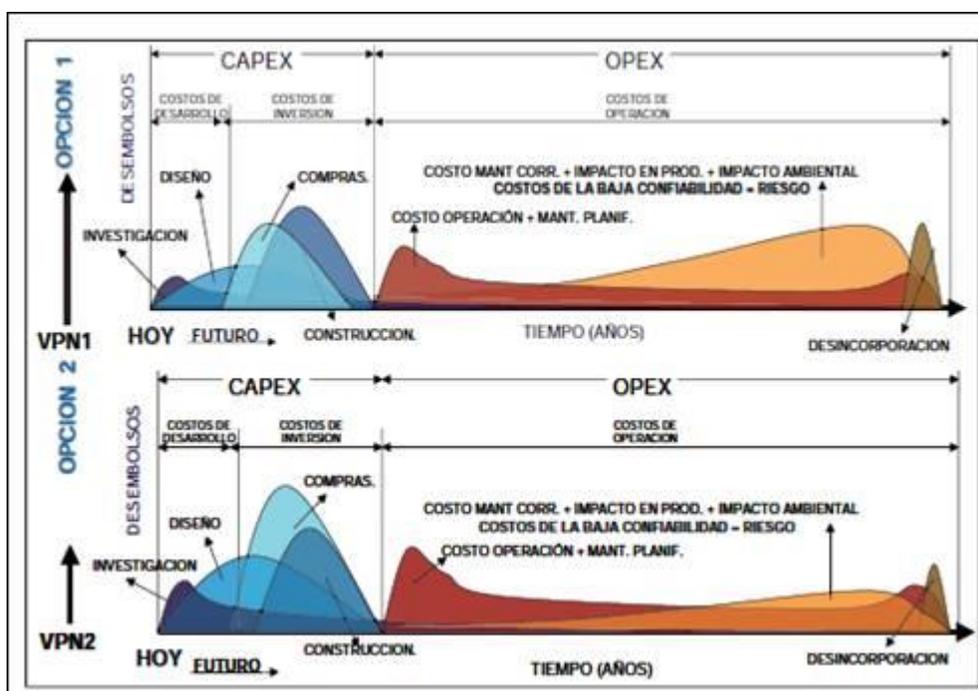
##### **5.2.3.2 OPEX.**

OPEX en sus siglas en ingles Operational Expenditures, comprende a los costos incurridos en operar y mantener los activos, este también incluye los costos referentes a paradas

de planta, otra definición complementaria (Duran et al., 2019), “se entienden como aquellas erogaciones en las que una compañía tiene que incurrir para sacar beneficio de los activos”(A. Perez & Carrasquilla, 2013. p19).

En la figura número 1 se muestra la estructura del presupuesto de mantenimiento en el tiempo en sus dos clasificaciones CAPEX y OPEX.

**Figura 1. Presupuesto CAPEX y OPEX en el tiempo.**



*Nota: Presupuesto en el tiempo; Fuente (A. Perez & Carrasquilla, 2013)*

#### 5.2.4 ¿Qué es una Caldera?

Según Barrera et al, (2018) una caldera es un recipiente cerrado que produce vapor o calienta un fluido a una temperatura superior a la del ambiente y a mayor presión que la atmosférica, suele aplicarse el calor de algún combustible sólido, líquido o gaseoso.

#### 5.2.4.1 Principio de funcionamiento de una caldera.

El principio básico del funcionamiento de una caldera, consiste en la combustión con ayuda del aire comburente y un intercambio de calor producido hacia el fluido caloportador, el cual transmite el calor hacia punto de consumo (Barrera et al., 2018). Para llevar a cabo el calentamiento del fluido, se requiere la intervención de tres mecanismos de transmisión de calor reconocido, se define la conducción, Radiación y Convección según el autor (Castro, 1988).

- **Conducción:** Consiste en la transferencia de calor de una parte de un cuerpo hacia otra parte del mismo cuerpo o de otro cuerpo por medio del contacto físico, en el caso de una caldera, consiste en poner directamente la llama y el cuerpo que contiene el fluido caloportador.
  
- **Radiación:** Consiste en la transferencia energía entre cuerpos debido a las vibraciones magnéticas, donde un cuerpo radia y transfiere calor a otro cuerpo, en el caso de una caldera, por medio de la llama hacia las paredes de la caldera donde tiene lugar la combustión.
  
- **Convección:** Consiste en la transferencia de calor de un fluido por la mezcla con otro debido a movimientos relativos entre ellos, en el caso de una caldera, por medio de los humos calientes generados en la combustión hacia las partes metálicas de la caldera.

#### 5.2.4.2 Tipos de calderas.

Barrera et. al (2018), clasifica las calderas según diferentes las necesidades energéticas, tipo de combustibles y el tiro de la caldera, por lo cual, se explica a continuación en la tabla 1:

**Tabla 1. Clasifica las calderas según diferentes parámetros y necesidades.**

CLASIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN
Según las necesidades energéticas	Las calderas se clasifican según el fluido caloportador y la temperatura a la que se empleará el proceso, por ello, existen calderas de agua caliente que corresponde a temperaturas inferiores a 100 °C, agua sobrecalentada con temperaturas superiores a 110 °C, de vapor pueden ser de calderas acuotubulares o piro-tubulares y fluido térmico donde solo las calderas acuotubulares pueden usarlo.
Según el tipo de combustible empleado	Para producir calor, las calderas pueden ser de combustible sólidos como carbón, bagazo o material vegetal, combustibles líquidos como gasolina, gasóleos y fuelóleos y de combustibles gaseosos como el gas natural y los gases licuados del petróleo tales como el propano y butano.
Según el tiro de las calderas	Corresponde a la forma que se genera el caudal de aire para iniciar y mantener el proceso de combustión, lo cuales pueden ser de tiro natural, presurizadas y de tiro equilibrado.
Según la disposición de los fluidos	Depende de la posición relativa entre el fluido a calentar y los gases de combustión, las calderas pueden ser acuotubulares y piro-tubulares.

*Fuente: Información (Barrera et al., 2018).*

En la última clasificación según la disposición, se detalla las calderas acuotubular y piro-tubular, profundizando aún más en la última, dado que es el activo caso de estudio.

### **5.2.4.3 Calderas acuotubulares.**

Son aquellas donde el fluido se desplaza por el interior de los tubos y los gases de combustión circulan por el exterior de estos. Es comúnmente, utilizada cuando se necesita presiones elevadas (> 22 bar) con el fin de calentar volúmenes de agua pequeños, se caracteriza

por tener una transmisión eficiente y por tener una producción de vapor elevada (Barrera et. al, 2018), se ilustra una caldera acuotubular en la Figura 2.

**Figura 2. Caldera acuotubular**



*Fuente: (Barrera et. al, 2018).*

#### **5.2.4.4 Calderas pirotubulares.**

Se caracteriza por tener una circulación de los gases de combustión por el interior de los tubos que están sumergidos en el agua. Es utilizado cuando se necesita presiones inferiores a 22 Bar, con el fin de calentar grandes volúmenes de agua, permitiendo controlar las fluctuaciones de la demanda de vapor. Además, dependiendo de la disposición del haz tubular, las calderas pirotubulares se clasifican en:

- **Calderas verticales:** en dado caso que se extienda los tubos desde la parte inferior hasta la superior e igualmente, se pueden clasificar en Calderas Verticales de tubos secos o húmedos, donde los tubos secos se encuentran sobre y los tubos verticales bajo el nivel del agua(Miranda Valdovinos, 2018).

○ **Calderas horizontales o tubo de fuego:** se caracterizan por generar vapor saturado donde los tubos se extienden desde la parte delantera hacia la trasera; las calderas horizontales pueden tener dos, tres o cuatro retornos, ya que “a medida que aumenta el número de tubos de humos, así como la cantidad de pasos, aumenta el intercambio de calor, lo cual disminuye la temperatura de los gases a la salida del generador de vapor, y, por consiguiente, se incrementa el rendimiento.” (Barrera et. al, 2018). ver figura 3.

**Figura 3. Caldera piro tubular de dos pasos de humos**



*Fuente: (Barrera et. al, 2018).*

### **5.2.5 Matemática financiera.**

En este apartado se describe las principales características de la matemática financiera, que se empleara para el desarrollo del cálculo del ciclo de vida del activo, se habla sobre la tasa de interés simple, interés compuesto, tasas equivalentes, Valor Presente Neto VPN, Tasa Interna de Retorno TIR y Costo Anual Uniforme Equivalente CAUE.

### 5.2.5.1 Tasa de interés simple.

Según (Bresani et al (2018), consiste en los intereses que produce un capital inicial en un período de tiempo, el cual no se acumula al capital para producir los intereses del siguiente período; lo cual significa que los intereses generados serán iguales en todos los períodos que se tenga la inversión o préstamo. Se muestra su formulación a continuación:

$$F = P * (1 + i) * n$$

Donde:

i= Interés.

P= Valor presente

i= Tasa de interés por unidad de tiempo

n= número de periodos

### 5.2.5.2 Tasa de interés compuesta.

Según (Baca, 2019), Consiste en la ganancia de dinero dependiendo de una unidad de tiempo, la cual se capitaliza, es decir, se agrega al capital inicial de dicha unidad de tiempo, formando un nuevo capital para la siguiente unidad de tiempo y así sucesivamente durante el tiempo establecido.

$$F = P(1 + i)^n$$

Donde:

i= Interés.

P= Valor presente

n= Periodos

F= Valor futuro

### 5.2.5.3 Tasas de interés equivalentes.

Consiste cuando dos tasas efectivas tienen condiciones diferentes, donde producen la misma tasa efectiva anual, pero en distintos periodos de capitalización. Las equivalencias de tasas las podemos hacer: de Efectiva a Efectiva, de Nominal a Efectiva y de Nominal a Nominal, se muestra su formulación a continuación:

$$i = \frac{J}{m}$$

Tasa Nominal (J), donde al dividirse con el número de capitalizaciones (m), por lo cual, da como resultado la tasa efectiva o tasa de periodos.

### 5.2.5.4 Valor Presente Neto VPN.

Según (Baca, 2019), el Valor Presente Neto (VPN), es la suma de los flujos de caja neto en unidades monetarias originadas por una inversión, consiste en traer valores futuros a un periodo de tiempo determinado, por lo que se utiliza utilizar una tasa de descuento que esté acorde al rendimiento mínimo esperado.

El objetivo del VPN permite comparar los periodos en los que un proyecto o negocio tuvo diferencias de flujo de dinero, con el fin de proyectar a largo plazo o si conviene o no invertir. A continuación, se muestra la ecuación que describe como calcular el VPN.

$$VPN = \sum_{t=1}^n \frac{F}{(1+i)^t} - I_0$$

*Donde:*

*VPN = Valor presente neto.*

*I<sub>0</sub> = Inversión inicial.*

*F = Futuro neto del periodo.*

*N = número de periodos de vida del proyecto.*

*i = Tasa de recuperación mínima atractiva.*

#### **5.2.5.5 Tasa interna de Retorno TIR.**

Según Besley (2000), la Tasa Interna de Retorno (TIR) se define como el valor de la tasa de descuento que hace el Valor Presente Neto VPN sea igual a cero para una inversión, en otras palabras, es la tasa de interés o rentabilidad que genera la inversión, esta nos da una medida relativa del beneficio o pérdida expresada porcentualmente.

El cálculo del TIR consiste en fijar en cero el VPN, calculando los flujos de efectivo interrumpidos de un proyecto o inversión, basado en el ingreso estimado comparados con los gastos estimados, continuación se muestra su formulación.

$$TIR = \sum_{t=0}^n \frac{F}{(1+i)^t} = 0$$

*Donde:*

*TIR = Tasa Interna de Retorno*

*F = Futuro Neto*

$N =$  número de periodos de vida del proyecto.

$i =$  Tasa de recuperación mínima atractiva.

#### Criterios de decisión

- Si el  $TIR > k$  , Inversión aceptado, la tasa de rendimiento interno es mayor que la tasa mínima de rentabilidad.
- Si el  $TIR = k$  , Inversión igual a 0, en este caso no es favorable asumir un proyecto que no genere rentabilidad.
- Si el  $TIR < k$  , Se rechaza la propuesta, no alcanza la rentabilidad mínima de la inversión.

#### **5.2.5.6 CAUE: Costo Anual Uniforme Equivalente.**

Según (Tobergte & Curtis (2005), la metodología CAUE se basa en convertir los ingresos y egresos en una serie uniforme de pagos, debe ser siempre con flujos positivos. Además, su principal utilización es para alternativas con vidas útiles diferente, por ello, no requiere que la comparación se desarrolle sobre el mínimo común múltiplo de años. Para hallar el costo anual equivalente CAUE se debe aplicar la ecuación 1.

$$CAUE = VPN * \frac{T.D(1 + T.D)^n}{(1 + T.D)^n - 1}$$

*Donde:*

*VPN: Valor presente Neto.*

*T.D: Tasa de Descuento.*

*N: Vida útil.*

### **5.2.6 Importancia de la gestión de activos en las actividades de mantenimiento.**

La gestión de activos es considerada un pensamiento estratégico desde la gestión financiera, gestión de negocio, ingeniería, operaciones y desde mantenimiento, que busca el equilibrio de los costos, riesgos, rendimiento y extender la vida útil en todo el ciclo de vida del activo (González et al., 2014)

Según la revista Ingeniería de Mantenimiento para Latino IMG (2021) afirman que desde el punto de vista de mantenimiento la gestión de activos ofrece una respuesta confiable a las necesidades características del negocio, no se enfoca en las acciones sobre el activo, sino en generar valor enfocado al objeto de la empresa.

De allí la importancia de optimizar la Gestión de Activos para garantizar que los equipos por medio del mantenimiento planificado sean eficientes, la revista menciona “las empresas industriales al ser competitivas basándose en la efectividad del flujo en sus procesos de producción de bienes, tienen en los activos físicos sus mayores protagonistas. Esto debido a que las empresas dependen de dichos activos para generar valor” (IMG,2021)

En la Gestión de Activos en marca el ciclo de vida del activo el cual permite optimizar sus costos de operación y la calidad del producto final, mediante la optimización de la mantenibilidad el cual incrementa su fiabilidad

### 5.2.7 Ciclo de vida de un activo.

En este apartado se desarrolla el segundo objetivo específico, que corresponde a “Determinar las herramientas y técnicas para estimar el ciclo de vida de los activos en la gestión de mantenimiento”, en primera instancia se detalla la definición del ciclo de vida de un activo a partir de diversos autores, seguidamente se hace una línea del tiempo de las postulaciones significativas en el ciclo de vida, se detallan los modelos aceptados en la literatura y se selecciona el adecuado para el caso de estudio.

#### 5.2.7.1 Definición de análisis de costo de ciclo de vida.

El análisis del costo de ciclo de vida de un activo ha sido estudiado y analizado por diversos autores, a continuación, en la tabla 2 se ilustran los aportes de sus puntos de vista que ayudan a enmarcar la definición.

**Tabla 2. Definiciones de análisis del costo de ciclo de vida de un activo.**

Cita	Definición
(Compañía y Soporte, 2015)	“El análisis del costo del ciclo de vida es utilizado para demostrar que se pueden lograr ahorros sustanciales en los procesos de definición de inversiones, suficientes de por sí para justificar mejores opciones, aunque el valor de compra sea mayor; además de permitir elegir entre múltiples opciones la mejor, en cuanto a la relación costo beneficio o costo - efectividad.”
(Keys, 1990) citado por (Reyes & Jerez, 2020)	“Método basado en la evaluación de diferentes criterios que permiten valorar los costes de la reposición de un equipo contra los costes de mantenerlo en operación y su objetivo final consiste en valorar la opción de la toma de decisiones gerenciales para la inversión de la reposición de un equipo”
(Santos et al., 2015)	“Se usa para determinar cuánto cuesta un equipo o una instalación durante un horizonte económico preestablecido; que puede ir desde su diseño hasta su desincorporación, pasando por el mantenimiento necesario para operarla”.

---



---

(Pérez, 2020)	“Análisis de Costo de Ciclo de Vida (ACCV) sirve especialmente como plataforma para poder determinar el impacto del factor Confiabilidad dentro del ciclo de vida operacional de los activos en su sistema de producción, dado que esta técnica permite estimar el total de todos los costos asociados a la operación de un activo durante su vida esperada”
UNE-EN 13306:2018	“El cálculo del costo de ciclo de vida definido como serie de estados por los que pasa un elemento desde su concepción hasta su eliminación”

---

*Fuente: Elaboración propia con base en fuentes secundarias; Fuente: (13306, 2002; C. Perez & Compañía y Soporte, 2015; Pérez, 2020; Reyes & Jerez, 2020; Santos et al., 2015)*

A partir de lo descrito en la tabla 2, se construye la definición del ciclo de vida de un activo por los autores citados.

El Análisis del Costo del ciclo de Vida (ACCV) también conocido en Ingles como Life Cycle Costing (LCC), el cual es un proceso analítico que evalúa diferentes costos asociados a todo el horizonte de tiempo en donde tienen relación con el activo. El LCC ayuda a determinar la mejor opción financiera al momento de tomar la alternativa de compra, asimismo, permite identificar en el tiempo el cambio de activo dado a los costos que están interviniendo, donde los costos de operación son superiores al de remplazo, se representa la línea de tiempo de las postulaciones en la literatura ver tabla 3.

**Tabla 3. Línea del tiempo de las postulaciones del cálculo del ciclo de vida.**

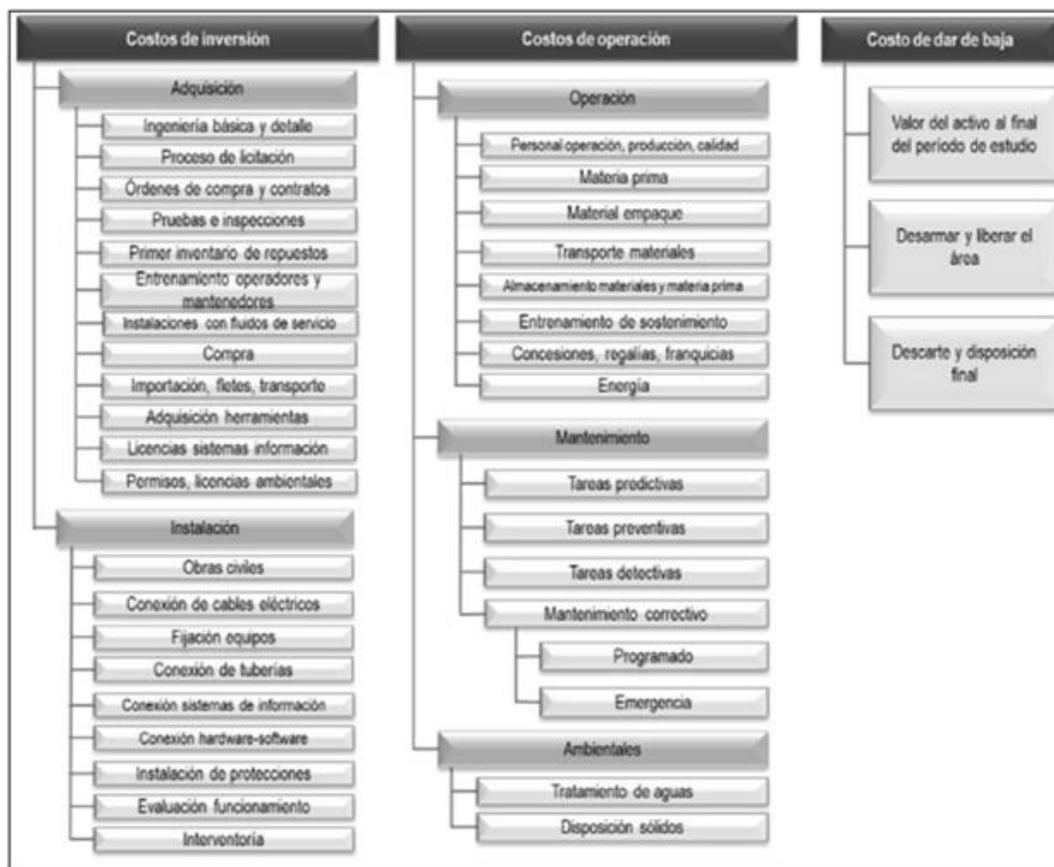
Año	Antecedente.
	Los primeros registros relacionados con el Análisis Costes Ciclo de Vida ACCV, se encuentran en el libro <i>Principles of Engineering Economics</i> de (Eugene et al., 1930), donde hace hincapié en los impactos de los costes en el ciclo de vida en un sistema de producción.
1930- 1970	<p>En las décadas de los 70 en Inglaterra Stone (1971) desarrolla uno de los mayores textos en relacionar ingeniería de costes.</p> <p>En Logistics Management Institute (1970), se realizó una investigación de ingeniería de obsolescencia para el Ministerio de Defensa de USA, dando como resultado del primer manual del Coste de Ciclo de Vida.</p>
1970- 1990	<p>El Departamento de Energía de los Estados Unidos (1974), decidió desarrollar sus planes de expansión y consumo energético sustentados en el análisis de Ciclo de Vida.</p> <p>Que posteriormente el departamento Federal de Suministros y Servicios de los Estados Unidos (1975), desarrolla e implementa una técnica de logística basada en el LCCA.</p> <p>Ocasionando que el Departamento de Energías (1979) incluyera una evaluación de LCCA en las construcciones nuevas de instalaciones gubernamentales.</p> <p>A finales de esa década, la <i>American Society for Testing and Materials (ASTM)</i> en 1985 estipula una serie de estándares y fuentes de consulta con técnicas de LCCA.</p>
1990 —2001	<p>Woodward (1997) de la universidad de Staffordshire Inglaterra, realizo una investigación que incluía aspecto del análisis del factor fiabilidad y los costos asociados al ciclo de vida del activo.</p> <p>David Willians y Robert Scott (2000) de <i>Reliability Group</i> desarrollaron un modelo de ciclo de vida del activo a partir de la distribución de Weibull para estipular la frecuencia de fallos asociados a los costos de fiabilidad</p> <p><i>The Wood House (2001)</i> consultores del proyecto EUREKA en Europa estipulada como (<i>Maintenance Cost/Risk Optimisation 'MACRO' Project</i>) desarrollan un software del ciclo de vida del activo, el cual corre pruebas estimando la vida útil de 56 sistemas de gas en el sector OIL&amp;GAS.</p>

*Fuente: Elaboración propia con base en fuentes secundarias;*

### 5.2.7.1 Costos que componen el ciclo de vida de un activo.

El autor Carlos Pérez en compañía de la empresa Soporte y Compañía (2015), realizan una caracterización de los costos asociados al Ciclo de Vida de un Activo, en primera instancia realizan un clasificación general en tres grandes grupos: Costos de inversión, Costos de operación y Costo de dar de baja, posteriormente cada uno de los costos los subdividen de la siguiente manera, los cotos de inversión en costos de adquisición e instalación, los Costos de operación en costos de Operación, Mantenimiento y Ambiente, seguidamente, los Costos de dar de baja en tres categorías de disposición, finalmente, las subclasificaciones anteriores se detallan a un nivel más detallando los costos puntuales según el objeto de la empresa, como esquema general se detallan los costos en la Figuras 4.

**Figura 4. Costos asociados al Ciclo de Vida de un Activo**



*Nota: Figura tomada de (C. Perez & Compañía y Soporte, 2015)*

### 5.2.7.2 Cálculo del costo del ciclo de vida.

Para hallar el costo total del ciclo de vida se debe realizar la sumatoria de los anteriores costos explicados, sin dejar alguno de lado, utilizando una simple fórmula como aparece a continuación:

$$LCC = C_a + C_{in} + C_o + C_e + C_m + C_{env} + C_{DB} + C_{TP}$$

Donde:

**Ca:** Costo de adquisición.

**Cm:** Costo de mantenimiento.

**Cin:** Costo de instalación.

**Cenv:** Costos ambientales.

**Co:** Costo de operación.

**CDB:** Costo de dar de baja.

**Ce:** Costo de la energía.

**CTP:** Costo de tiempo perdido.

### 5.3 Marco normativo y legal.

En este apartado se citan las diferentes normas, resoluciones, acuerdos, entre otros, que respaldan la realización de la presente propuesta de investigación, se muestra el marco normativo y legal en la tabla 4.

**Tabla 4. Marco normativo y legal**

NORMA	DESCRIPCIÓN	OBSERVACIÓN
ISO 14224:2016	Industrias del petróleo, petroquímicas y del gas natural. Recogida e intercambio de datos de mantenimiento y fiabilidad de los equipos	Proporciona las bases fundamentales en la captación de datos de confiabilidad y mantenimiento, pensada como un estándar para todo tipo de instalaciones de diferentes sectores.
ISO 55000:2014	Gestión de activos — Aspectos generales, principios y terminología	Suministra los aspectos generales en la gestión de activos, principios, terminología y sus bondades.
ISO 55001:2014	Gestión de activos — Sistemas de gestión — Requisitos	Establece los requisitos para la implementación, mantenimiento y mejora de un sistema de gestión de activos, las organizaciones establecen a que activos se les aplica la norma
ISO 55002:2018	Gestión de activos — Sistemas de gestión — Directrices para la aplicación de la norma ISO 55001.	Proporciona la orientación en la aplicación de un sistema de gestión de activos acordes a la ISO 55001.
ISO 31000:2018	Gestión de riesgos – Directrices	Proporciona un marco en la para la gestión del riesgo, ayuda a identificar oportunidades y amenazas para el tratamiento del riesgo, la puede emplear cualquier organización sin importar su tamaño.

NORMA	DESCRIPCIÓN	OBSERVACIÓN
ISO 9001:2015	Sistemas de gestión de la calidad — Requisitos.	Suministra un marco lógico de trabajo asegurando la gestión en las organizaciones: armoniza la documentación y uniformidad en los diferentes sistemas de calidad.

*Nota: Marco Normativo de Referencia para la Certificación de Gestores en Mantenimiento y Confiabilidad; Fuente(Aciem, 2018)*

## **6 Marco metodológico.**

### **6.1 Recolección de la información.**

En este apartado se sigue una estructura específica de investigación para resolver el interrogante planteado, se describe el tipo de investigación, las fuentes de obtención de la información, las herramientas a abordar, la metodología a trabajar y la información recopilada del objeto de estudio.

#### **6.1.1 Tipo de investigación.**

La presente propuesta de investigación utiliza el paradigma científico de tipo cualitativo, según Sampieri (2018) lo define como “La investigación cuantitativa brinda una gran posibilidad de repetición y un enfoque sobre puntos específicos de los fenómenos, además de que facilita la comparación entre estudios similares”.

El proyecto se enfoca en los siguientes métodos de investigación, la cual son cruciales para el desarrollo del trabajo:

- Investigación histórica: Se realiza el análisis de los datos históricos del activo caso de estudio, el cual la información se encuentra almacenada en el software de mantenimiento de la organización.
  
- Investigación documental: Se consultan las características del activo basado en la ficha técnica del fabricante.
  
- Investigación descriptiva: Se detalla el funcionamiento y las condiciones del proceso productivo en donde interviene el activo.

Del total de los activos de la organización siendo la población, se selecciona del sistema de generación de vapor como muestra uno de los activos más representativos para el proceso productivo siendo la caldera pirotubular.

Se estima como fases para el desarrollo del proyecto las siguientes

- Recolección de información del activo caso estudio.
- Análisis de la información recolectada
- Aplicar en un activo caso de estudio el cálculo del ciclo de vida del activo propuesto

### **6.1.2 Fuentes de obtención de la información.**

En la presente propuesta de investigación, se recurre a fuentes de información confiables y trazables que permitan apoyar el desarrollar adecuado de la investigación, se clasifican la información en primaria y secundaria.

### **6.1.2.1 Fuentes de información primaria.**

Las fuentes de información primaria se relacionan directamente con el tema de estudio, para el activo propuesto, se toman los costos históricos asociados a la caldera pirotubular, información almacenada en el software del mantenimiento y abastecimiento de la compañía, junto a los manuales y las características del proceso en el activo caso de estudio.

### **6.1.2.2 Fuentes de información secundaria.**

Las fuentes de información secundarias utilizadas en la presente investigación son: monografías, artículos, marcos normativos, tesis e información externa, que ayude a en marcar la temática propuesta para realizar el análisis del costo de vida del activo propuesto.

### **6.1.3 Herramienta.**

Las herramientas empleadas para el desarrollo del presente trabajo son:

- Análisis de Costo del ciclo de vida (LCC).
- Datos históricos de mantenimiento.
- Herramientas financieras (VPN, WACK)
- ISO 55000:2014, ISO 55001:2014, ISO 55002:2018 Paquete de gestión de activos.
- Plan Estratégico de Gestión de Activos (PEGA)
- MAXIMO IBM, Software de gestión de mantenimiento

#### **6.1.4 Metodología.**

Para alcanzar el primer objetivo planteado, se “Describir las características de operación actual de la caldera pirotubular caso de estudio en el suministro de vapor”, en donde se detallan, las especificaciones del fabricante, el plan de mantenimiento estructurado por el área de mantenimiento y condiciones de operación asociados al activo.

Para el desarrollo del tercer objetivo “Realizar el análisis de los costos de adquisición e instalación CAPEX y operación y mantenimiento OPEX de la caldera pirotubular caso de estudio”, se estructura todos los costos asociados al activo mediante la jerarquía de activos que componen a la caldera pirotubular, información recopiladas desde el Software de mantenimiento de la organización.

Para el desarrollo del tercer objetivo “Determinar las herramientas y técnicas para estimar el ciclo de vida de los activos en la gestión de mantenimiento” mostradas en la literatura, a partir de las bases de datos de la Universidad de ECCI y Google académico, posteriormente se estructura la selección de la herramienta para ser utilizada en el caso de estudio.

Finalmente, el cumplimiento del tercer objetivo se “Realizar el análisis del ciclo de vida de una caldera pirotubular, tomando como caso de estudio del sector de biocombustibles” mediante la herramienta seleccionada, para ello, se solicitará a la organización la información de los costos asociados al activo de estudio en los softwares de mantenimiento y compras, con la finalidad de estimar el comportamiento de los costos y la frecuencia de remplazo de la caldera pirotubular en su ciclo de su vida útil.

### 6.1.5 Información recopilada

La información recopilada para el cumplimiento del presente proyecto se parte de la descripción del activo caso de estudio junto a sus costos asociado y seguidamente la herramienta seleccionada para calcular el LCC.

### 6.1.6 Descripción Caldera Pirotubular.

En este apartado se desarrolla el primer objetivo, que corresponde a “Describir las características de operación actual de la caldera pirotubular caso de estudio en el suministro de vapor”, se detalla las características técnicas, el plan de mantenimiento, sus fases de operación, variables de operación, históricos de fallas.

#### 6.1.6.1 Características Caldera Pirotubular.

A continuación, se ilustra las características técnicas de la Caldera Pirotubular de la empresa caso de estudio del sector de Biocombustibles, la información fue recolectada con la información del fabricante como se muestra en la tabla 5.

**Tabla 5. Ficha técnica caldera pirotubular.**

FICHA TECNICA	
<b>Tipo de equipo:</b>	Caldera Horizontal
<b>Clase de Caldera:</b>	Pirotubular de camisa húmeda
<b>Marca:</b>	Calderas JCT
<b>Modelo:</b>	1200 H3 PV
<b>Combustible:</b>	Carbón
<b>Año de Fabricación:</b>	2007
<b>Número de serie:</b>	1882
<b>Capacidad:</b>	17 Ton – Vapor/Hora
<b>Potencia:</b>	1200 BHP
<b>Presión de diseño:</b>	220 PSI

<b>Presión de trabajo:</b>	200 PSI
<b>Tipo de quemador:</b>	Parrilla móvil
<b>Numero de pasos:</b>	3
<b>Superficie de calefacción:</b>	5769 Ft <sup>2</sup>
<b>Producción de Vapor (P.V.):</b>	37.400 lb-V/h (Agua a 100 °C y a presión atmosférica)
<b>Equipos de Control:</b>	Dos Multiciclones y Filtro de Talegas
<b>Salida de ceniza de los equipos de Control:</b>	Válvulas Rotativas.



*Nota: La tabla presenta datos generales del activo bajo estudio; Fuente: Datos técnicos de fabricante JCT.*

La caldera pirotubular está compuesta una serie de activos críticos, correspondientes a dos parrillas viajeras, dos motores reductores de la parrilla, tres ventiladores de tiro forzado y por último tres motore ventilador del tiro forzado, en un apartado siguiente se identificará la jerarquía de activos.

#### **6.1.6.2 Registro fotográfico caldera pirotubular caso de estudio.**

#### **Figura 5. Planta de generación de vapor.**

*Nota: Planta de generación de vapor empresa BIO D; Fuente: tomada por el autor*

**Figura 6. Caldera pirotubular caso de estudio**



*Nota: Caldera pirotubular 1200 empresa BIO D; Fuente: tomada por el autor*

### **6.1.6.3 Plan de mantenimiento.**

El plan de mantenimiento de la caldera pirotubular se estima bajo las recomendaciones del fabricante JCT, y se han realizado ajustes de frecuencias e incorporación de nuevos planes de trabajo para garantizar la confiabilidad y disponibilidad del sistema de generación de vapor, ver tabla 6.

**Tabla 6. Plan de mantenimiento caldera JCT**

<b>INSPECCIÓN DIARIA</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Drenar el control de nivel, mínimo una vez por turno.</li> <li>• Drenar la caldera, abriendo las válvulas de purga cada ocho horas, según recomendación asesor.</li> <li>• Drenar el tanque de retorno mínimo una vez por turno.</li> <li>• Soplar los tubos de fuego usando los sopladores de hollín cada 4 horas.</li> <li>• Purgar la columna de agua varias veces, por lo menos una vez por turno.</li> <li>• Verificar la temperatura del agua de alimentación.</li> <li>• Verificar la presión de la bomba y su funcionamiento.</li> <li>• Verificar cuando encienda la caldera que los gases de combustión sean incoloros.</li> <li>• Asear el cuarto de la caldera.</li> <li>• Comprobar que la ignición del quemador sea correcta.</li> <li>• Verificar la tensión de la parrilla, si tiene eslabones y/o uniones rotas o fundidas.</li> <li>• Chequear lectura de los manómetros.</li> <li>• Dosificar los productos químicos según recomiende su proveedor o asesor en aguas.</li> <li>• Evacuar las escorias del shute de cenizas cada hora.</li> <li>• Evacuar las cenizas del ciclón y debajo de la parrilla en el hogar de la caldera cada 4 horas.</li> </ul>

---

**MANTENIMIENTO SEMANAL**

---

- Verificar fugas de vapor, para corregirlas.
- Verificar que las válvulas de seguridad si disparan a la presión de calibración.
- Verificar el alineamiento del eje motor-bomba de agua, y posibles fugas por sello del eje y tapas de bomba.
- Limpiar el tablero eléctrico. Soplar con aire comprimido.
- Inspeccionar los sellos laterales o bloques de Carbofrax y el refractario.
- Drenar el tanque de retorno condensados, limpiar su interior removiendo lodos y sedimentos. Lo anterior, dependiendo de la calidad del agua.
- Retensionar la parrilla, si tiene eslabones y/o uniones rotas o fundidas remplazarlas.
- Realizar la limpieza de los tubos de fuego del espejo trasero.

---

**MANTENIMIENTO MENSUAL**

---

- Limpiar con cuidado el polvo de los controles eléctricos y revisar los contactos de los arrancadores.
- Limpiar los vidrios de nivel ubicados en el tanque de retorno y en el control de nivel de la caldera.
- Verificar fugas en general (válvulas, tubos de fuego, registros de mano, ductos, etc.).
- Verificar las trampas de vapor y limpiar los filtros de agua.
- Comprobar el alineamiento de la bomba con el motor.

---

**MANTENIMIENTO MENSUAL**

---

- Retirar los taponés que se encuentran en las crucetas y soportan el sistema de control de nivel, para limpiar.
- Verificar que la válvula de seguridad se accione cuando la presión de la caldera alcance una presión entre el 5% y el 10% de la presión de placa de la válvula.
- Limpiar la malla de entrada de aire al ventilador.
- Verificar tensión en las bandas o correas de ventiladores.
- Cada dos meses realizar un deshollinado total de la caldera.

---

**MANTENIMIENTO SEMESTRAL**

---

- Lavar internamente la caldera con agua a alta presión. Inspeccionar la superficie de evaporación para indicios de corrosión, picadura o incrustaciones.
- Colocar empaquetaduras nuevas en los manholes y handholes.
- Verificar el estado de la parrilla y el hogar.
- Verificar el estado del refractario del arco de ignición y del muro rompe llama.
- Revisar todas las válvulas de entrada y salida de la caldera.
- Realizar prueba hidrostática a zona de aguas a la presión de trabajo de la caldera.
- Verificar el estado de aislamiento de la caldera.

---

**MANTENIMIENTO ANUAL**

---

- Revisar la empaquetadura del sello del eje y tapas de la bomba de alimentación de agua.
- Mantenimiento de los motores (consumo de corriente, rodamientos y demás).
- Verificar si requiere una limpieza química la caldera, de acuerdo con los análisis
- del asesor en aguas.

---

*Fuente: Suministrada por la empresa caso de estudio (BIO D,2021)*

#### **6.1.6.4 Operación en la generación de vapor.**

El proceso de la caldera Pirotubular en la empresa caso de estudio se clasifica en dos partes, la primera parte es llamada el lado agua correspondiente al suministro de agua a la caldera y el segundo llamado lado fuego correspondiente al proceso de transferencia de calor para finalmente la generación de vapor, se describirá de manera general los procesos mediante fases.

#### **6.1.6.5 Proceso caldera peritubular lado agua.**

- Fase 1. Suministro de agua

El proceso de suministro de agua comienza con la captación del condensado que se encuentra entre 70-80°C, proveniente de los diferentes procesos de transformación de aceite crudo de palma en Biodiesel, este condensado es almacenado en un tanque. Paralelo a esto, se puede suministrar agua suavizada que se encuentra entre 25 a 27°C suministrada por la Planta de Tratamiento de Agua Industrial PTAI, en caso de que el condensado no esté en las condiciones adecuadas para la generación de vapor.

- Fase 2. Protección del ciclo de vapor.

Posteriormente el agua almacenada en el tanque es desplazada por un grupo de bombas al desaireador, la finalidad de esta etapa es suministrar Anodamine y un aumento de temperatura. La Anodamine genera una barrera hidrofóbica que protege el ciclo de vapor es decir tuberías y equipos desde un único punto de inyección, incluso sistemas de condensado difíciles de alcanzar (Gobal, 2014), por otro lado, el incremento de temperatura se realiza por medio de suministro de vapor desde el distribuidor principal para ir aumentando la temperatura del agua a 100°C, en los casos de arranque en la generación de vapor se hace un Bypass mientras se genera vapor.

- Fase 3. Incremento de temperatura

Esta fase tiene dos propósitos, el primero de ellos es aumentar la temperatura del agua saliente del desaireador a 115°C, mediante el intercambio de calor por conducción con los gases calientes provenientes de la caldera por medio de un economizador, el cual al tener ganancia de calor se evitarán choques térmicos cuando el fluido entre en contacto con la caldera. El segundo propósito es que se debe tener un control de temperatura de los gases de salidas, por ende, sirve como fase de enfriamiento de gases de expulsión.

- Fase 4. Generación de vapor saturado

El agua con una temperatura de 105°C entra a la parte inferior de la caldera pirotubular, donde es incrementada su temperatura con la transferencia de calor de los gases producto de la combustión del carbón, hasta llegar a vapor saturado donde pueden coexistir juntos el vapor y el agua, la caldera garantiza las variables de proceso que son: presión de 195 PSI con un flujo de 24.000 lb/h de vapor saturado.

- Fase 5. Distribución de vapor.

En esta última fase el vapor llega a los distribuidores donde reparte el caudal de vapor saturado a los consumidores, también separa y evacúa la humedad residual; en el presente caso de estudio, el distribuidor alimenta procesos productivos de plantas de transformación de aceite de Palma.

#### **6.1.6.6 Proceso caldera pirotubular lado fuego.**

- Fase A. Dosificación de carbón

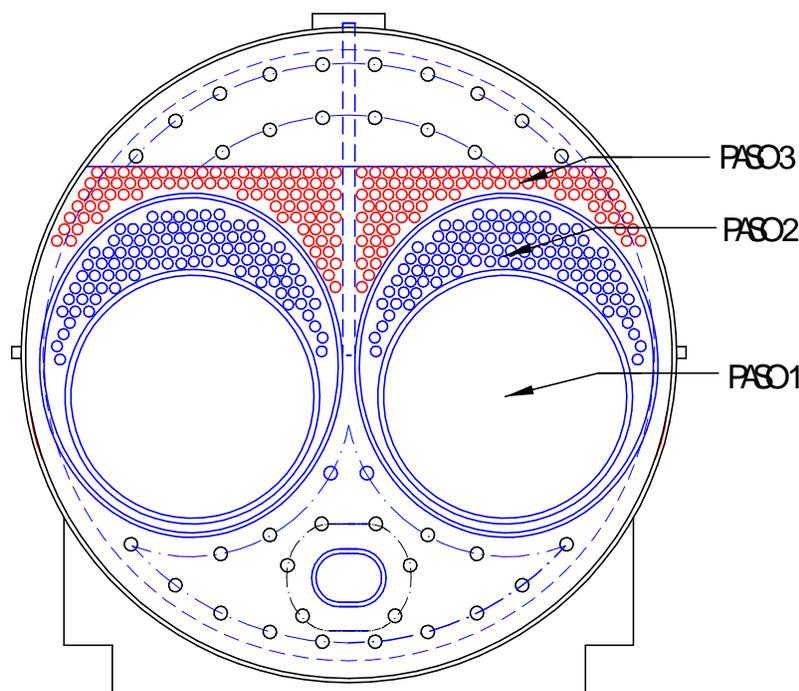
El proceso comienza con el almacenamiento de carbón en tres silos de 110 Toneladas cada uno, el cual la apertura del silo dependerá de los niveles de carbón que se tenga, posteriormente se dosifican a tres bandas transportadoras en serie que llevan el carbón con un margen de 6 a 10 Cm de altura en capa, estas desplazan el carbón hasta llegar al elevador que asciende 15 metros de altura para así alimentar las tolvas de ingreso al quemador de la caldera.

- Fase B. Generación de energía calórica.

El carbón es suministrado a los dos hogares de la caldera de forma paralela donde ocurre el proceso de combustión, por medio de dos ventiladores de tiro forzado uno para cada hogar para avivar la llama, esta parte corresponde al primer paso de la caldera el cual comienza el proceso de conducción térmica con el agua que se encuentra en la parte inferior, explicación dada también desde el lado de agua.

Posteriormente los gases calientes producto de la combustión se desplazan al segundo paso de la caldera mediante 98 tubos por sección, estos tubos también se encuentran en contacto con el nivel del agua suministrado poder calorífico para la generación del vapor saturado, por último los gases calientes recorren el tercer y último paso, estos son succionados por un ventilador de tiro inducción en la salida de la caldera, en esta ya se encuentra el agua en vapor saturado en su totalidad con las condiciones de presión, temperatura y flujos para el suministro, en la figura 7 se describe el detalle del proceso de combustión en cada uno de los pasos.

**Figura 7. Vista frontal caldera detallada**



*Nota: Plano frontal caldera en corte; Fuente: Elaboración del autor basada en la ficha técnica JCB*

- Fases C. Separación de partículas y enfriamiento.

Los gases salientes de la caldera con una temperatura de 235°C entran a 12 Multiciclones que operan paralelamente, el cual atrapan las partículas sólidas que se encuentran suspendidas en el aire, el proceso de separación de las partículas es por medio de vórtices que emplean la rotación y la gravedad, obteniendo el hollín producto de la combustión. Continuando con flujo de gases calientes pasa por un economizador que trasfiere el poder calorífico al agua de entrada a la caldera, esto como etapa de enfriamiento de gases a 120 °C.

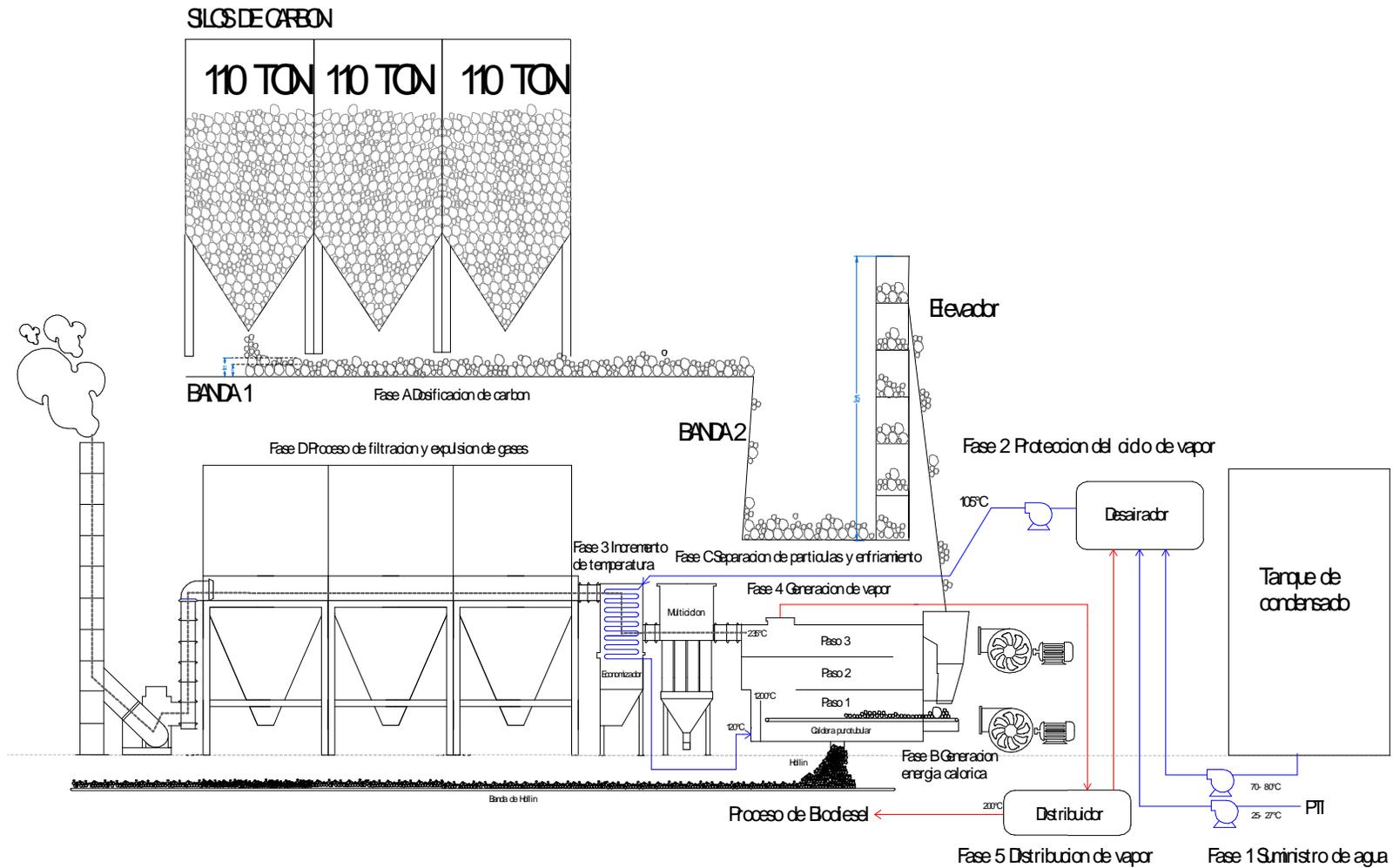
- Fase D. Proceso de filtración y expulsión de gases.

Por medio de ventiladores de tiro forzado hacen llevar los gases a los filtros mangas, su función es realizar un proceso de filtración con tejido microperforado, sustrayendo partículas

sólidas de los gases que se almacenan en bolsas. Finalmente, los gases filtrados son absorbidos por un segundo ventilador de tiro inducido trasportándolos a la chimenea, el cual los humos y gases producto de la combustión son liberados hacia la atmosfera.

Se representas las fases anteriormente explicadas del lado agua y lado fuego del sistema de generación de vapor en la figura 8

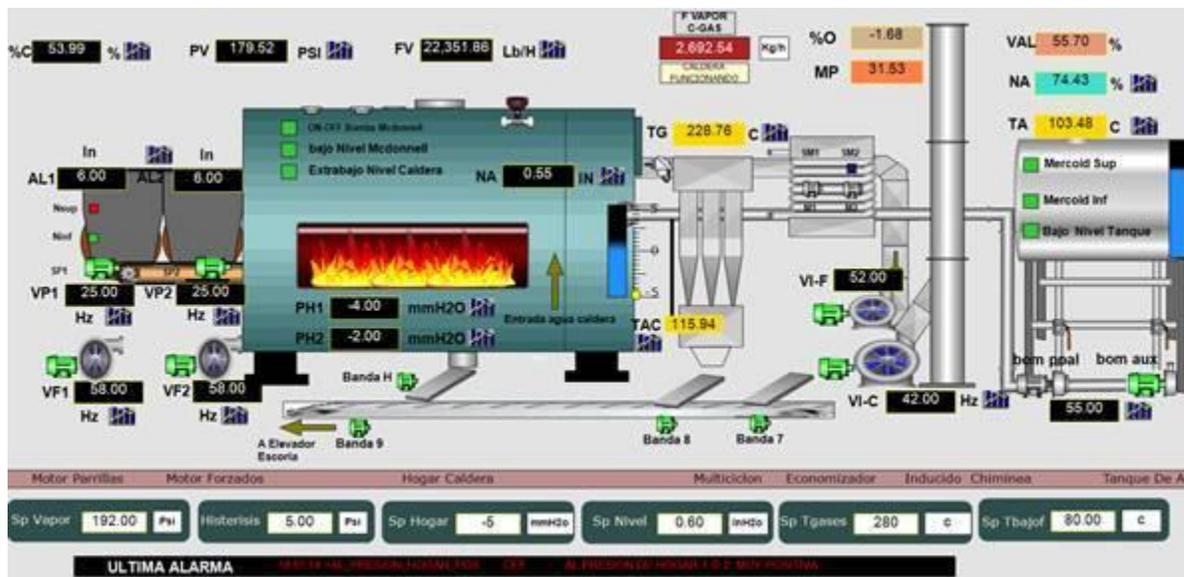
Figura 8. Proceso de generación de vapor



Nota: Elaboración propia del autor, sistema de generación de vapor empresa caso de estudio

Por último, se ilustra en la figura 9 las variables detalladas del proceso de generación de vapor, tomada de la HMI de la caldera pirotubular de la empresa caso de estudio.

**Figura 9. Esquema de del proceso HMI generación de vapor detalle de variables**



*Nota: variables del proceso de la caldera; Fuente: empresa (BIO D, 2021)*

### 6.1.6.7 Indicadores de operación.

Para garantizar el proceso adecuado de generación de vapor y el cumplimiento productivo de los procesos que requieren el suministro constante de vapor saturado, se debe hacer seguimiento y control a las variables de salida del proceso. Por último, y no menos importante se debe medir y controlar las variables que impactan directamente con el medio ambiente.

#### Vapor saturado

- Presión: 192 PSI
- Flujo salida a refinería: 9500 Lb/h
- Flujo salida generación de biodiesel 14000 Lb/h

## **Ambiental**

- Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>): 500 mg/m<sup>3</sup>
- Óxido de Nitrógeno (NO<sub>x</sub>): 350 mg/m<sup>3</sup>
- Material particulado (MP): 50 mg/m<sup>3</sup>

### **6.1.7 Análisis de la información**

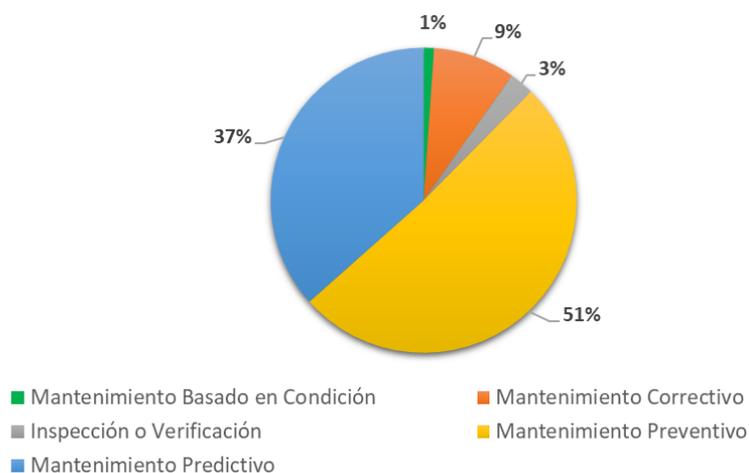
En el siguiente apartado se analizan indicadores de la caldera pirotubular, a partir de bases históricas almacenadas en bases de información del área de mantenimiento y el Software de mantenimiento MAXIMO IBM y en el ERP de la Organización, los registros encontrados se encuentran algunos a partir del 2014 y otros desde el 2017 hasta la fecha.

Estos correspondientes a la disponibilidad mecánica, tipos de mantenimiento realizados, el presupuesto, los costos asociados a la misma, paradas programadas y no programadas,

### **6.1.8 Tipos de mantenimiento realizados caldera pirotubular.**

La caldera pirotubular desde su puesta en marcha hasta la fecha, ha presentado el 51% de sus órdenes de trabajo en actividades de mantenimiento preventivo, el 37% en mantenimiento predictivo, el 9% en mantenimiento correctivo, 3% en inspecciones y verificaciones y el 1% en mantenimiento basado en condición, como se ve representado en la figura 10.

**Figura 10. Tipos de mantenimientos realizados a la caldera pirotubular**



*Nota: Ordenes de trabajo OT realizadas; Fuente: Software de mantenimiento Máximo, Empresa caso de estudio*

La estrategia del área de mantenimiento de la empresa caso de estudio, se enfoca en la Optimización de los Planes de Mantenimiento PMO, analizando los históricos de fallas, la frecuencia optima de intervención y optimizar los programas según el funcionamiento de la operación. Con la finalidad de aumentar la disponibilidad de los activos y con miras de reducir los costos asociados de mantenimiento. Por lo anterior, las actividades de mantenimiento preventivo son mayor que las actividades predictivas y basadas en condición.

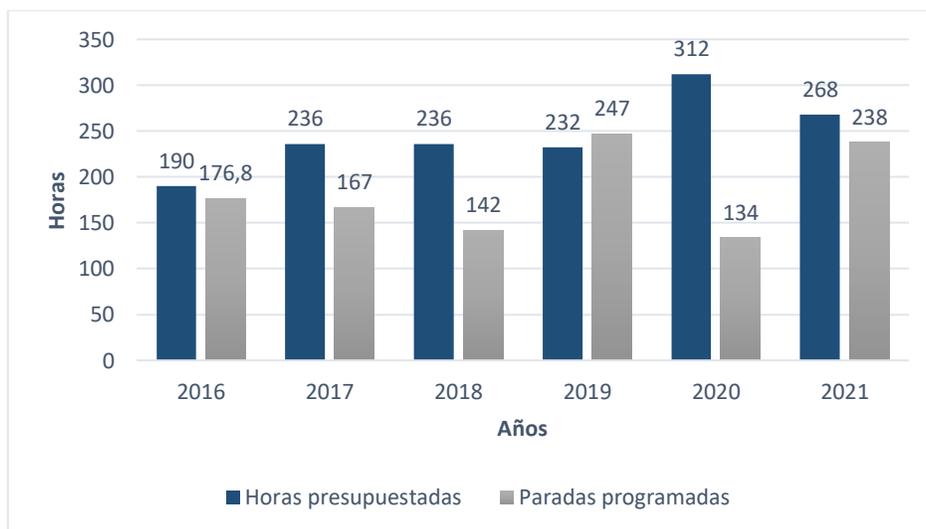
### **6.1.9 Paradas de planta programadas**

Las horas de paradas de planta presupuestado desde el 2016 al 2021 tiene el siguiente comportamiento como se muestra en la figura 11, donde a lo largo de los años se han venido incorporando más horas de paradas programadas presupuestadas y comparándola con la real han sido inferior, esto se debe a que los planes de mantenimiento de la caldera se han ido

optimizando, con la finalidad de realizar las actividades críticas que solo se pueden realizar con el sistema de generación suspendido.

Se han venido trasladado de actividades de mantenimiento que se hacían con los equipos parados ahora se hacen en funcionamiento o en puntos del tiempo donde la operación es baja según la demanda del mercado se coordinan algunas actividades específicas, por último, se han incorporado actividades de mantenimiento basado en condición que hacen que las frecuencias de intervención sean dinámicas.

**Figura 11. Paradas de planta presupuestadas VS ejecutadas**



*Nota: Elaboración propia Horas presupuestadas VS ejecutadas Basado en la información suministrada empresa caso de estudio.*

Hay punto en el tiempo que bajo factores externos han variado las paradas de planta, esto se debe según la demanda del mercado para producir el biodiesel el cual requiere vapor para su proceso productivo, y otros puntos en el tiempo como en el 2020, que motivos de la pandemia

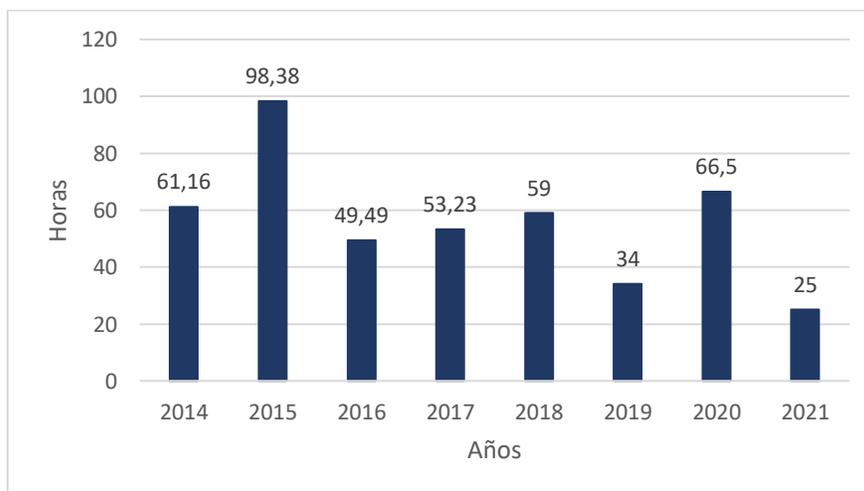
del Covid-19 limito que se ejecutaran parte de las 312 horas presupuestadas y las horas ejecutadas fueron 134h.

### 6.1.10 Paradas de planta no programadas

Son periodos de tiempo donde la planta está fuera de servicio producto de fallas inesperadas en equipos críticos para el proceso, en la ilustración 12 se describen las horas de afectación en el sistema de generación de vapor desde el 2014 al 2021 por mantenimiento correctivo.

Las paradas no programadas tienen dos características, la primera son fallas emergentes de un equipo la cual es una actividad correctiva de alto impacto que detiene la operación, descritos en la tabla 7, y la segunda mala operación por errores humanos sometiendo a los equipos a falla deteniendo el proceso de generación de vapor. En la figura 12 se representan las paradas no programadas en el tiempo.

**Figura 12. Paradas de planta no programadas**



*Nota: Elaboración propia horas NO presupuestadas, basado en la información suministrada empresa caso de estudio.*

**Tabla 7. Actividades de parada de planta no programada en el tiempo.**

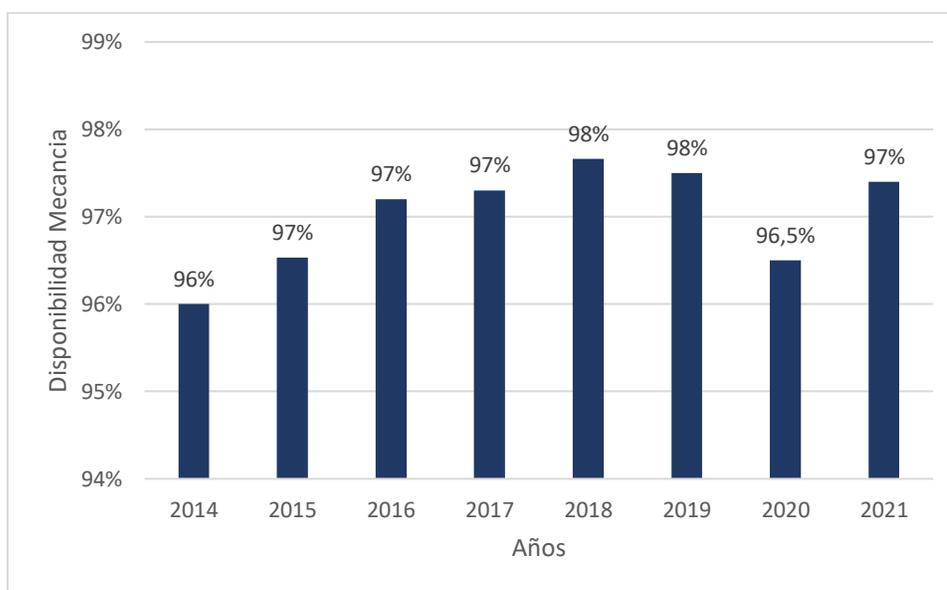
<b>Año</b>	<b>Descripción</b>	<b>Horas</b>	<b>Total</b>
2014	Atascamiento en parrilla 2	4	45
	Falla en válvula soplador 3	3	
	Atascamiento en parrilla 1	16,8	
	Atascamiento en parrilla 1	8	
	Atasco parrilla 1	4,5	
	Corto en micros de sopladores y bombas de alimentación de agua	0,4	
	Alta temperatura gases.	0,6	
	Atascamiento parrilla 2	3	
	Falla parrilla 1 y 2	5	
2015	Fuga por controlador de nivel Mcdonell	5,6	98,4
	Daño de la bornera del variador	1	
	Parrilla 2 de caldera Frenada	7,5	
	Falla en banda eslabonada y Falla en PLC	84,3	
2016	Atascamiento en Parrilla 1	22,2	49,7
	Atascamiento en Parrilla 2	22,2	
	Falla en el ventilador de la chumacera del inducido 1	5,33	
2017	Fuga en trampa cabezal principal	3	53,2
	Falla en PLC de la caldera, indicando falso nivel	8,5	
	falla por bajo nivel de agua falsos niveles en sensores	4,7	
	Perdida de presión en caldera, el swich de nivel se encontraba sucio y el nivel del tanque reportado no era el real.	3	
	Falla de empaque de manhole inferior trasero	28,5	
	Paro de la parrilla por la transmisión	4,75	
	Falla parrilla 2	0,75	
2018	Cambio de empaque por fuga en manhole de caldera 1200	24	59,3
	Falla en las bombas bajo nivel de agua	3,5	
	Se encuentra material particulado y se atasca la parrilla	3	
	Falla en el empaque de la purga de la caldera de fondo	23	
	Fuga en la bomba de bajo nivel	5,8	
2019	Falla en el tiro forzado 1	34	34
2020	Atascamiento de parrilla 1 afectando proceso	15,5	66,5
	Daños en los pirotubos de la caldea	51	
2021	Se apaga la caldera para reparar fuga de vapor por daño en bridas del nivel electrodo	7	25
	Falla en la parrilla 2	18	

*Nota: Elaboración propia horas detalladas de actividades NO presupuestadas, basado en la información suministrada empresa caso de estudio.*

### 6.1.11 Disponibilidad mecánica sistema de generación de vapor

La disponibilidad mecánica del sistema de generación se mide como la relación de horas de operación total al año menos las paradas de planta programadas, las desviaciones del indicador corresponden a las paradas de planta NO programadas que detienen el proceso productivo de generación de vapor. En la figura 13 se aprecia los porcentajes de disponibilidad mecánica a lo largo del año.

**Figura 13. Disponibilidad mecánica del sistema de generación de vapor.**



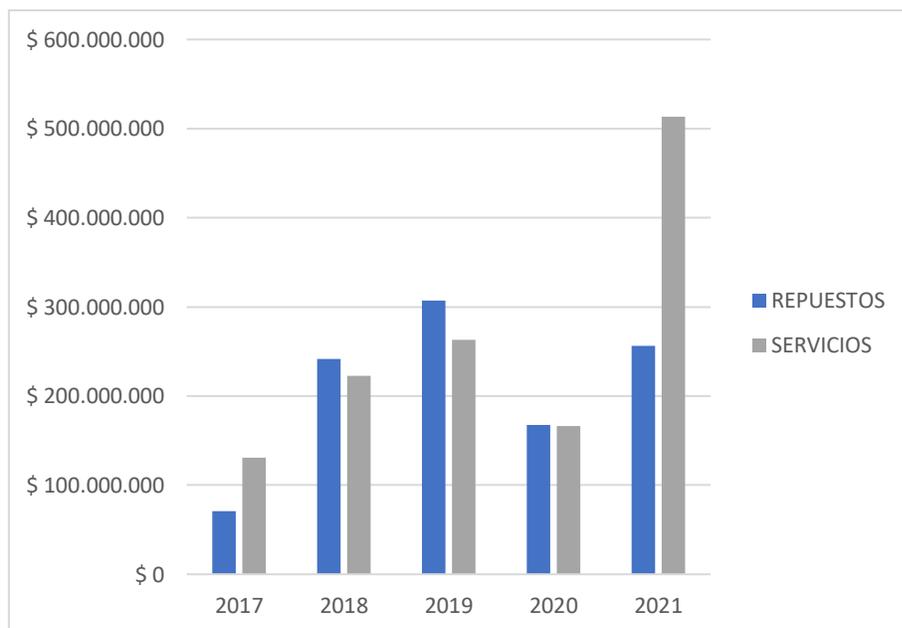
*Nota: Elaboración propia basada en la información suministrada empresa caso de estudio*

### 6.1.12 Costos sistema de generación de vapor

La clasificación de los costos del sistema de generación de vapor se tiene representada en dos clases, el primer servicio externos en actividades de mantenimiento que por la complejidad se subcontratan o por que el recurso interno no es suficiente para cubrir la totalidad de las actividades, la segunda clasificación es con los repuestos utilizados en las actividades

preventivas. En la figura 14 se muestra los consumos de dinero en repuestos y servicios desde el 2017 hasta el 2021

**Figura 14. Costos en repuestos y servicios sistema de generación de vapor.**



*Nota: Elaboración propia basada en basado en la información suministrada empresa caso de estudio*

## 6.2 Propuesta solución

En el siguiente apartado se detallan los costos iniciales CAPEX, correspondientes a los costos de adquisición y alistamiento del equipo, posteriormente los costos del OPEX que corresponden a los costos de operación, costos de mantenimiento, costo de energía, costos de disposición y costos de tiempos perdidos. se discriminan los costos al activo caso de estudio

El activo caso de estudio caldera pirotubular al tener sub activos representativos y ser activos intercambiables se consideró analizarlos independiente, ver tabla 8.

**Tabla 8. jerarquía de activos caldera pirotubular**

B-13001	Caldera horizontal JCT
BPV-13001	Parrilla viajera derecha No1
MR-13019	Motor reductor parrilla viajera derecha No1
BPV-13002	Parrilla viajera izquierda No2
MR-13018	Motor reductor parrilla viajera izquierda No2
VTF-13001	Ventilador tiro forzado alimentación aire caldera 1
MVT-13001	Motor ventilador tiro forzado 1
VTF-13002	Ventilador tiro forzado alimentación aire caldera 2
MVT-13002	Motor ventilador tiro forzado 2
VTF-13003	Ventilador alimentación aire caldera sobre fuego
MVT-13003	Motor ventilador tiro forzado sobre fuego

*Fuente: Elaboración propia a partir de la jerarquía de activos, suministrada por la empresa caso de estudio.*

### **6.2.1 Anualización de costo**

Con la finalidad de tener pagos constantes de igual valor durante iguales periodos de tiempo se anualizaran cada uno de los costos, la empresa caso de estudio maneja una tasa de oportunidad efectiva anual  $[T_{EA}]$  de 11.17% el cual se convierten a tasas equivalente en semestral  $[T_{ES}]$ , trimestral  $[T_{ET}]$  y mensual  $[T_{EM}]$ , cubriendo los diferentes escenarios de los costos del ciclo de vida del activo, a continuación se identifica la ecuación para la conversión de tasas equivalentes y en la tabla 9 se muestra las equivalencias de las tasas en los diferentes periodos

$$Tasa\ equivalente = (1 + i_{EA})^{\left(\frac{1}{n}\right)} - 1$$

- Numero de periodo (n): Semestral (2), Trimestral (4), Mensual (12)
- Interés efectivo anual (EA): 11.17%

**Tabla 9. Tasas equivalentes**

<b>Tipo de tasa</b>	<b>Valor Tasa</b>
Tasa Efectiva anual ( $T_{EA}$ )	11,7%
Tasa Efectiva semestral ( $T_{ES}$ )	5,7%
Tasa Efectiva trimestral ( $T_{ET}$ )	1,4%
Tasa Efectiva Mes ( $T_{EM}$ )	0,1%

*Nota: Elaboración propia del autor partiendo de la tasa de oportunidad de la empresa.*

### 6.2.2 Costos de adquisición Ca y Costo de instalación Cin

El sistema de generación de vapor es considerado una planta completa en la empresa de Biocombustibles, la instalación el cual incluye la obra civil y adquisición de los activos costo \$ 2.869.851.000, la caldera contablemente no se tiene discriminado los costos de adquisición e instalación por grupo de activos, por lo que se requirió el apoyo del fabricante JCT para detallar los costos por activos, primero se pondero el activo caso de estudio, estimado 54% equivalente a \$1.607.116.560, este valor corresponde a la caldera con los componentes representativos del árbol de activos y un 44% correspondiente a \$ 1.262.734.440 al otro grupo de activos que hacen parte del sistema de generación de vapor, el cual en el presente trabajado no se tienen estimados su análisis.

Ya desagregado los costos de la caldera pirotubular caso de estudio del sistema de generación de vapor, se caracteriza los costos de instalación y adquisición de activos, para este proceso se tuvo el apoyo del área de compras de la organización y del fabricante JCT, para hacer

las estimaciones de los costos, el cual un 43% corresponde al valor de los equipos 691.060.121 y 57% en la instalación que incluye la obra civil correspondiente a \$916.056.439, en la tabla 10 se detalla los costos de instalación y adquisición en la jerarquía de activos.

**Tabla 10. Detalle costos de instalación y adquisición**

JERARQUÍA DE ACTIVOS			DESCRIPCIÓN	ADQUISICIÓN		INSTALACIÓN (%)	
				%	PRECIO \$	%	PRECIO \$
B-13001			Caldera horizontal JCT	54,7%	\$ 378.009.886	69,9%	\$ 639.865.423
	BPV-13001		Parrilla viajera derecha No1	20%	\$ 138.212.024	13%	\$ 119.087.337
		MR-13019	Motor reductor parrilla viajera derecha No1	0,3%	\$ 2.073.180	0,3%	\$ 2.290.141
	BPV-13002		Parrilla viajera izquierda No2	20%	\$ 138.212.024	13%	\$ 119.087.337
		MR-13018	Motor reductor parrilla viajera izquierda No2	0,3%	\$ 2.073.180	0,3%	\$ 2.748.169
	VTF-13001		Ventilador tiro forzado alimentación aire caldera 1	1,0%	\$ 6.910.601	0,9%	\$ 8.244.508
		MVT-13001	Motor ventilador tiro forzado 1	0,6%	\$ 4.146.361	0,3%	\$ 2.748.169
	VTF-13002		Ventilador tiro forzado alimentación aire caldera 2	1,0%	\$ 6.910.601	0,9%	\$ 8.244.508
		MVT-13002	Motor ventilador tiro forzado 2	0,6%	\$ 4.146.361	0,3%	\$ 2.748.169
	VTF-13003		Ventilador alimentación aire caldera sobre fuego	1,0%	\$ 6.910.601	0,9%	\$ 8.244.508
		MVT-13003	Motor ventilador tiro forzado sobre fuego	0,5%	\$ 3.455.301	0,3%	\$ 2.748.169
<b>Total</b>				<b>100%</b>	<b>\$ 691.060.121</b>	<b>100,00%</b>	<b>\$ 916.056.439</b>

*Nota: Elaboración propia del autor partiendo de información de compra del activo.*

### 6.2.3 Costos de operación Co

Los costes que incurre la empresa para garantizar la generación de vapor son: el salario del operador y el ayudante de la caldera siendo un costo fijo, la empresa caso de estudio tiene un esquema de 2 turnos para garantizar la operación de la caldera. Un segundo costo de operación es el carbón como materia prima como costo variable, este varía según la demanda de vapor que requieran las plantas de producción de Biodiesel, y es dinámico según las paradas de planta mayores que son programadas en el año, se describen los costos de operación.

### 6.2.3.1 Costo de mano de obra producción

Para estimar el costo fijo de operación se parte del salario del operario de \$2.100.000 y del ayudante en \$1.350.000 mensual, labora el primer turno de 6:00 am – 6:00 pm y el segundo turno de 6:00 pm a 6:00 am del día siguiente, con jornada de 12 horas con la siguiente distribución: laboran dos días en horario diurno, dos días en horario nocturno y descansan dos días, se calculan los costos de Seguridad Social, Parafiscales, Recargos salariales y Prestaciones Sociales como se muestra en la Tabla 11.

**Tabla 11. Detalle costos de mano de obra operación**

Costo	Descripción	Operador	Ayudante
Seguridad Social SS	Pensión 12%	\$ 299.250	\$ 192.375
	Salud 8,5%	\$ 211.969	\$ 136.266
	ARL V 6,96%	\$ 173.565	\$ 111.578
	<b>Total SS</b>	<b>\$ 684.784</b>	<b>\$ 440.218</b>
Parafiscales	Caja de compensación 4%	\$ 99.750	\$ 64.125
	ICBF 3%	\$ 74.813	\$ 48.094
	SENA 2%	\$ 49.875	\$ 32.063
	<b>Total parafiscales</b>	<b>\$ 224.438</b>	<b>\$ 144.281</b>
Prestaciones Sociales	Cesantías 8,33%	\$ 207.729	\$ 143.301
	Primas 8,33%	\$ 207.729	\$ 143.301
	Vacaciones 4,17%	\$ 103.989	\$ 71.736
	Intereses de cesantías 1%	\$ 24.938	\$ 17.203
	<b>Total prestaciones sociales</b>	<b>\$ 544.386</b>	<b>\$ 375.541</b>

*Nota: Elaboración propia del autor partiendo del salario base del operador y ayudante de la caldera en Bio D*

Seguidamente se muestra el consolidado de costos unitario por operador y ayudante de caldera, para estimar el costo mes Mano De Obra M.O.D se utiliza la siguiente relación matemática y se describe el detalle en la tabla 12.

$$M. O. D = SB + AT + HE + PF + RS + SS$$

SB = Salario Básico

AT= Auxilio de transporte

HE=Horas extras

PF=Parafiscales

RS=Recargos salariales

SS=Seguridad social

**Tabla 12. Consolidado de costos de mano de obra M.O.D operación**

<b>Costo</b>	<b>Operario</b>		<b>Ayudante</b>	
Salario	\$	2.100.000	\$	1.350.000
Auxilio de transporte	\$	-	\$	117.172,00
Horas Extras	\$	-	\$	-
Seguridad Social	\$	684.784	\$	440.218
Parafiscales	\$	224.438	\$	144.281
Prestaciones Sociales	\$	544.386	\$	375.541
Recargos salariales	\$	393.750,00	\$	253.125,00
<b>Costo mano de obra unitario (M.O.D)</b>	<b>\$</b>	<b>3.947.357</b>	<b>\$</b>	<b>2.680.337</b>
<b>Costo de mano de obra por número de turnos (2)</b>	<b>\$</b>	<b>7.894.714</b>	<b>\$</b>	<b>5.360.674</b>

*Nota: Elaboración propia del autor partiendo del salario base del operador y ayudante de la caldera en Bio D*

Con los costos mensuales de mano de obra de producción se anualizar mediante la tasa de oportunidad  $0,001\text{Tem}$  efectiva mes en 12 periodos, dando como resultado \$95.339.773 y \$64.737.684 del operario y ayudante respectivamente, se le adicionan 10.000.000 de capacitaciones anuales al área, se representa el costo total de mano anualizado en la tabla 13.

**Tabla 13 Mano de obra de producción anualizado.**

<b>Descripción costo</b>	<b>Costo Mes</b>	<b>Costo Anualizado</b>
Salario Operador (2)	\$ 7.894.714	\$ 95.339.773
Salario ayudante (2)	\$ 5.360.674	\$ 64.737.684
Capacitación		\$ 10.000.000
<b>Total</b>		<b>\$ 161.077.458</b>

*Nota: Elaboración propia del autor partiendo de información del área de producción en BIO D.*

### **6.2.3.2 Costo de producción de vapor**

El costo variable del consumo del carbón para la generación de vapor está en función de 8.360 [h] horas al año de producción de Biodiesel, estos valores tienen en cuenta la demanda de producción y las paradas en el año, la generación de vapor saturado está a una razón de 7 [Ton/hora], por lo que la generación de vapor al año multiplicado por la razón de vapor saturado es de 56.520 Toneladas de vapor requeridas para la producción de Biodiesel en un año.

Seguidamente, para producir una tonelada de vapor se requiere 125 [Kg] de carbón, este valor multiplicado por 56.848 Toneladas de vapor anual, corresponden a 7.315.000 Kg de carbón anual para mantener la generación de vapor, los acuerdos comerciales que tiene la empresa con el proveedor que suministra carbón son de \$300 el kilogramo de carbón, con esta relación se estima el costo anualizado del sistema de generación de vapor \$ 2.131.800.000 para el normal funcionamiento.

Posteriormente, se desagregar el costo de producción y de mano de obra operativa relacionada con la cantidad de activos del sistema de generación de vapor correspondiente a: 357 equipos VS

el conjunto de activos de la caldera pirotubular estimada en 108 equipos, en la tabla 14 se detalla los costos anualizados totales de operación respectivos.

**Tabla 14. Desagregación de costos de producción y de mano operativa caldera pirotubular**

<b>Activos</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costos de operación anualizados</b>	<b>Costos de mano de obra anualizados</b>
Sistema de generación de vapor	357	\$ 2.131.800.000	\$ 161.077.458
Caldera pirotubular	108	\$ 644.914.286	\$ 48.729.315

*Nota: Elaboración propia del autor partiendo de información del árbol de generación de vapor en BIO D.*

Finalmente, se consolida los costos anualizados operativos relacionando la mano de obra de los operarios y los costos en la generación de vapor en el activo caso de estudio, se describe que los costos anualizados de producción radican en \$644.914.286 y en \$48.729.315 en la mano de obra.

Seguidamente se clasifican los costos en la jerarquía de activos de la caldera pirotubular caso de estudio, el cual según el grado de involucramiento de la operación en los activos la dirección de mantenimiento designa las siguientes ponderaciones, la caldera en un 41%, parillas viajeras 20%, motor reductor 2% ventilador tiro forzado 3% y motores eléctricos 5%, se detallan los costos en la tabla 15.

**Tabla 15. Descripción de costo anualizados de operación jerarquía de activos.**

JERARQUIA DE ACTIVOS	DESCRIPCION	%	Costo mano obra operativo anualizado	Costo de producción anualizado
B-13001	Caldera horizontal JCT	41%	\$ 19.979.019	\$ 272.191.765
BPV-13001	Parrilla viajera derecha No1	20%	\$ 9.745.863	\$ 132.776.471
MR-13019	Motor reductor parrilla viajera derecha No1	2%	\$974.586	\$12.898.286
BPV-13002	Parrilla viajera izquierda No2	20%	\$ 9.745.863	\$ 132.776.471
MR-13018	Motor reductor parrilla viajera izquierda No2	2%	\$974.586	\$12.898.286
VTF-13001	Ventilador tiro forzado alimentación aire caldera 1	3%	\$ 1.461.879	\$19.347.429
MVT-13001	Motor ventilador tiro forzado 1	2%	\$974.586	\$ 13.277.647
VTF-13002	Ventilador tiro forzado alimentación aire caldera 2	2%	\$974.586	\$ 13.277.647
MVT-13002	Motor ventilador tiro forzado 2	3%	\$1.461.879	\$19.347.429
VTF-13003	Ventilador alimentación aire caldera sobre fuego	2%	\$974.586	\$ 13.277.647
MVT-13003	Motor ventilador tiro forzado sobre fuego	3%	\$1.461.879	\$19.347.429
<b>Total</b>		<b>100%</b>	<b>\$48.729.315</b>	<b>\$663.882.353</b>

*Nota: Elaboración propia del autor partiendo de información del árbol de generación de vapor en BIO D.*

#### 6.2.4 Costo de energía Ce

Se estiman los costos de energía partiendo de las potencias y el tiempo de operación de los motores de las parilla y los de tiro forzado de la caldera, como el proceso de generación de vapor es variable según la demanda del producto terminado y las paradas de planta estimadas en el año, se toma como tiempo de operación 6.230 horas año presupuestadas de operación de la caldera., adicionalmente, el precio del kilovatio estipulado por la empresa de transmisión de energía es de \$400 [\$/kW], con la cual se estable el costo energético por activo. Los costos energéticos anuales de los activos que conforman la caldera pirotubular es de \$77.252.000, se detallan los costos en la Tabla 16.

**Tabla 16 detalle de costos de energía por activo.**

<b>Descripción Motores</b>	<b>Potencia KW</b>	<b>Operación (h)</b>	<b>Costo \$/Kw h- año</b>
Motor parrilla 1 MR-13019	0,75	6.230	\$ 1.869.000
Motor parrilla 2 MR-13018	0,75	6.230	\$ 1.869.000
Motor tiro forzados 1 MVT-13001	11	6.230	\$ 27.412.000
Motor tiro forzados 2 MVT-13002	11	6.230	\$ 27.412.000
Motor tiro forzados 3 MVT-13003	7,5	6.230	\$ 18.690.000
<b>Total</b>			<b>\$ 77.252.000</b>

*Nota: Elaboración propia del autor partiendo de la información técnica del activo.*

A continuación, se relacionan los costos de energía en la jerarquía de activos para estructurar los costos energéticos, no se estima costos representativos en la caldera JCT dado que su fuente de operación es el carbón y no el consumo eléctrico, se detalla en la tabla 17.

**Tabla 17. Costos de energía en la jerarquía de activos**

<b>JERARQUIA DE ACTIVOS</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>Costo energético anualizado \$/Kw año</b>
B-13001	Caldera horizontal JCT	\$ -
BPV-13001	Parrilla viajera derecha No1	\$ -
	MR-13019 Motor reductor parrilla viajera derecha No1	\$ 1.869.000,00
BPV-13002	Parrilla viajera izquierda No2	\$ -
	MR-13018 Motor reductor parrilla viajera izquierda No2	\$ 1.869.000,00
VTF-13001	Ventilador tiro forzado alimentación aire caldera 1	\$ -
	MVT-13001 Motor ventilador tiro forzado 1	\$ 27.412.000,00
VTF-13002	Ventilador tiro forzado alimentación aire caldera 2	\$ -
	MVT-13002 Motor ventilador tiro forzado 2	\$ 27.412.000,00
VTF-13003	Ventilador alimentación aire caldera sobre fuego	\$ -
	MVT-13003 Motor ventilador tiro forzado sobre fuego	\$ 18.690.000,00
	<b>Total</b>	<b>\$ 77.252.000,00</b>

*Nota: Elaboración propia del autor partiendo de información del árbol de generación de vapor en costos eléctricos BIO D.*

## 6.2.5 Costos de mantenimiento Cm

Los costos de mantenimiento se estructuran con la proyección de los planes de mantenimiento preventivo de la caldera pirotubular, de los cuales se detalla el costo de la mano de obra por el tiempo de la actividad, repuestos y servicios por terceros.

### 6.2.5.1 Costo de mano de obra de mantenimiento

En primera instancia se inicia con el cálculo de costo de la mano, que tiene la misma modalidad de dos turnos que los operarios, labora el primer turno de 6:00 am – 6:00 pm y el segundo turno de 6:00 pm a 6:00 am del día siguiente, con jornada de 12 horas con la siguiente distribución: laboran dos días en horario diurno, dos días en horario nocturno y descansan dos días, el salario del técnico de mantenimiento es de \$3.000.000 y ayudante de mantenimiento en \$1.800.000 mensual, se calculan los costos de Seguridad Social, Parafiscales, recargos salariales y Prestaciones Sociales como se muestra en la Tabla 18.

**Tabla 18. Detalle costos de mano de obra de mantenimiento.**

Costo	Descripción	Técnico de mantenimiento	Auxiliar de mantenimiento
Seguridad Social SS	Pensión 12%	\$ 427.500	\$ 256.500
	Salud 8,5%	\$ 302.813	\$ 181.688
	ARL V 6,96%	\$ 247.950	\$ 148.770
	<b>Total SS</b>	<b>\$ 978.263</b>	<b>\$ 586.958</b>
Parafiscales	Caja de compensación 4%	\$ 142.500	\$ 85.500
	ICBF 3%	\$ 106.875	\$ 64.125
	SENA 2%	\$ 71.250	\$ 42.750
	<b>Total parafiscales</b>	<b>\$ 320.625</b>	<b>\$ 192.375</b>
Prestaciones Sociales	Cesantías 8,33%	\$ 296.756	\$ 187.814
	Primas 8,33%	\$ 296.756	\$ 187.814
	Vacaciones 4,17%	\$ 148.556	\$ 94.020
	Intereses de cesantías 1%	\$ 35.625	\$ 22.547
	<b>Total, prestaciones sociales</b>	<b>\$ 777.694</b>	<b>\$ 492.195</b>

*Nota: Elaboración propia del autor partiendo del salario base del técnico y auxiliar de mantenimiento de la caldera en Bio D.*

Seguidamente se muestra el consolidado de costos unitario por técnico y auxiliar de mantenimiento, para estimar el costo de mano de obra mensual con la sumatoria del salario base, auxilio de transporte si aplica, horas extras, parafiscales, recargos salariales y seguridad social se describe el detalle en la tabla 19.

**Tabla 19. Consolidado de costos de mano de obra M.O.D mantenimiento.**

<b>Costo</b>	<b>Técnico de mantenimiento</b>	<b>Auxiliar de mantenimiento</b>
Salario	\$ 3.000.000	\$ 1.800.000
Auxilio de transporte	\$ -	\$ 117.172,00
Horas Extras	\$ -	\$ -
Seguridad Social	\$ 978.263	\$ 586.958
Parafiscales	\$ 320.625	\$ 192.375
Prestaciones Sociales	\$ 777.694	\$ 492.195
Recargos salariales	\$ 562.500,00	\$ 337.500,00
<b>Costo total mano de obra (M.O.D)</b>	<b>\$ 5.639.081</b>	<b>\$ 3.526.199</b>
<b>Costo de mano de obra por número de turnos (2)</b>	<b>\$ 11.278.163</b>	<b>\$ 7.052.399</b>

*Nota: Elaboración propia del autor partiendo del salario base del técnico y auxiliar de mantenimiento de la caldera en Bio D.*

Teniendo el costo de mano de obra mensual por clase de cargo, se estima el tiempo efectivo del personal de mantenimiento, este se calcula con la diferencia del tiempo teórico menos el tiempo muerto.

$$\text{Tiempo efectivo} = \text{Tiempo teórico} - \text{Tiempo muerto}$$

- Tiempo teórico: Tiempo diario Máximo de trabajo establecida en el departamento de mantenimiento, sin tener en cuenta la existencia de tiempos muertos.

- Tiempo muerto: el tiempo diario de trabajo alcanzable, en la cual se tiene en cuenta el tiempo real del desarrollo de la misión del cargo.

Con la distribución de turnos actual y la jornada de 12 horas, el técnico y auxiliar de mantenimiento tienen un tiempo teórico de 240 horas mensual, los tiempos muertos del personal son de 50 horas mes, para tener como tiempo efectivo 190 horas mes, se describe cada uno de los tiempos en la tabla 20.

**Tabla 20. Descripción de tiempos muertos**

<b>Descripción tiempo</b>	<b>Horas mes</b>
<b>Tiempo Teórico</b>	
Horas mes laboradas	240
<b>Total horas (+)</b>	<b>240</b>
<b>Tiempo Muerto (-)</b>	
Comité de seguridad	4
Comité de confiabilidad	1,5
Comité por especialidad	1,5
Almuerzo	20
Desayuno y onces	20
Capacitación cultura	3
<b>Total horas (-)</b>	<b>50</b>
<b>Tiempo efectivo</b>	<b>190</b>

*Nota: Elaboración propia del autor partiendo de información del área de mantenimiento en BIO D.*

Seguidamente se calcula la tarifa mano de obra, el cual es el cociente entre el costo total de mano de obra M.O.D sobre las horas efectivas laboradas, con esto se obtiene el costo hora de mano de obra M.O.D del técnico en \$ 29.679 [\$/h] y del auxiliar de mantenimiento en \$18.558 [\$/h].

$$\text{Costo hora M.O.D} = \frac{\text{Costo total de M.O.D}}{\text{Hora efectiva laboradas}}$$

### 6.2.5.2 Costo en las rutinas de mantenimiento

Se consolida los planes asociados a la jerarquía de activos de la caldera pirotubular identificando la cantidad de horas de duración de la actividad de mantenimiento, el cual se multiplica por el costo hora de mano de obra M.O.D calculada en el apartado anterior para establecer el valor total del recurso técnico, seguidamente se relaciona los repuestos y los servicios asociados a dichos planes de mantenimiento.

Basado en la frecuencia de intervención de los equipos en las actividades de mantenimiento, se establece el periodo y la tasa equivalente para anualizar los respectivos costos en el tiempo, se describe en la tabla 21 los costos asociados a los activos representativos de la caldera pirotubular caso de estudio.

**Tabla 21. Costos de mantenimiento anualizado.**

JERARQUIA DE ACTIVOS	DESCRIPCION	Costo mano de obra anualizado	Repuestos anualizados	Servicios anualizados
B-13001	Caldera horizontal JCT	\$ 14.116.994	\$ 3.979.772	\$ 45.328.071
BPV-13001	Parrilla viajera derecha No1	\$ 8.986.623	\$ 13.765.850	\$ -
MR-13019	Motor reductor parrilla viajera derecha No1	\$ 467.129	\$ -	\$ 2.083.013
BPV-13002	Parrilla viajera izquierda No2	\$ 8.986.623	\$ 13.765.850	\$ -
MR-13018	Motor reductor parrilla viajera izquierda No2	\$ 467.129	\$ -	\$ 2.083.013
VTF-13001	Ventilador tiro forzado alimentación aire caldera 1			
MVT-13001	Motor ventilador tiro forzado 1	\$ 1.079.688	\$ -	\$ -
VTF-13002	Ventilador tiro forzado alimentación aire caldera 2			
MVT-13002	Motor ventilador tiro forzado 2	\$ 1.079.688	\$ -	\$ -
VTF-13003	Ventilador alimentación aire caldera sobre fuego			
MVT-13003	Motor ventilador tiro forzado sobre fuego	\$ 555.232	\$ -	\$ -
	<b>Total</b>	<b>\$ 35.739.105</b>	<b>\$ 31.511.473</b>	<b>\$ 49.494.098</b>

*Nota: Elaboración propia del autor partiendo de información del área de mantenimiento en BIO D.*

### **6.2.5.3 Costos de mantenimiento correctivo**

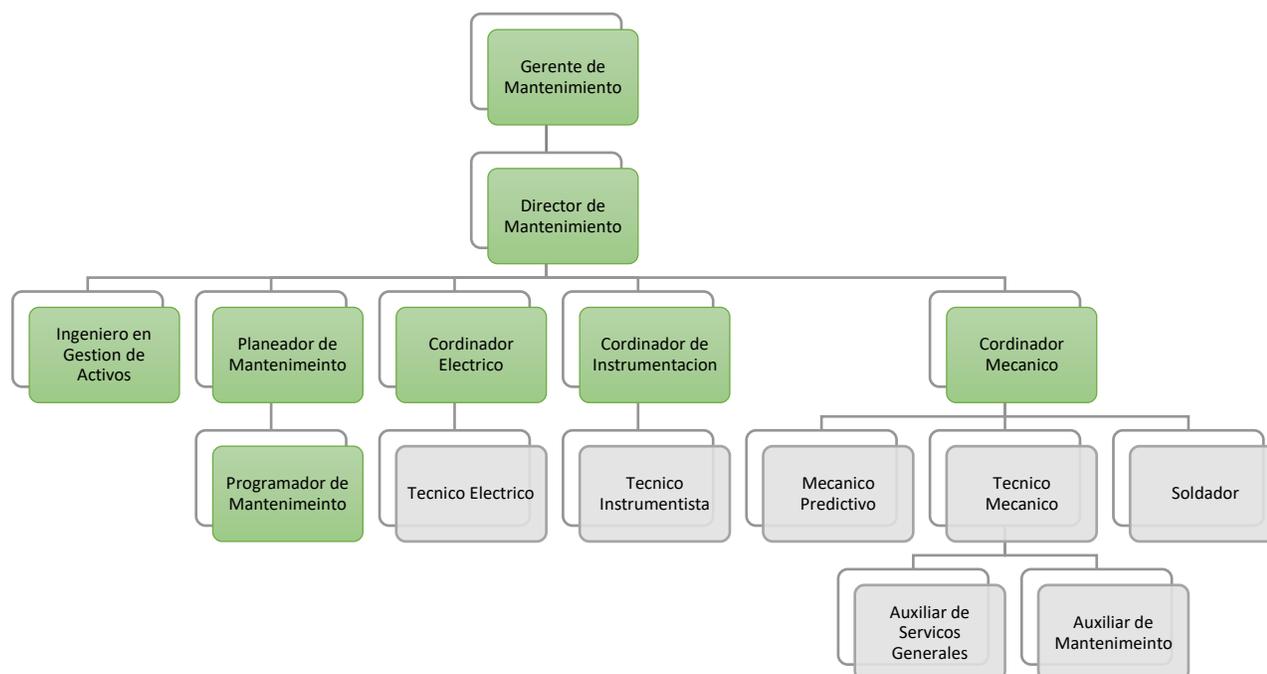
Se revisan históricos de mantenimiento correctivos en la jerarquía de activos que no ocasionaron detenciones en el sistema de generación de vapor, pero si generaron intervenciones correctivas planeadas o inmediatas sin afectar la disponibilidad, cabe destacar que las fallas que generan indisponibilidad del sistema se relacionan en el apartado de costos de tiempos perdidos CTP.

### **6.2.5.4 Costo administrativo**

Para el cálculo del costo administrativo del área de mantenimiento, se relacionan el promedio de los salarios del área, el valor prestacional de los cargos y las capacitaciones del área estimados para el año, la forma de trabajar de la empresa no estima que el personal se traslade a otras áreas o requieran transporte interno por lo que no se tiene dichos viáticos o vehículos asignados.

El área administrativa está conformada por la Gerencia de Mantenimiento, Dirección de Mantenimiento, Planeación de Mantenimiento, Programación de Mantenimiento, Ingeniero en Gestión de Activos y tres Coordinadores de Mantenimiento, la suma de los salarios es de 45.000.000 mensuales, el cual es el promediado de las personas administrativas del área, no se detalla el salario por cargo dada la confidencialidad de la información de la empresa, con lo anterior nos da un salario promedio de \$ 5.625.000 por personal, en la figura 15 se muestra el organigrama del área de mantenimiento, se enmarca en verde los cargos administrativos.

**Figura 15. Organigrama de mantenimiento.**



*Nota: Elaboración propia del autor partiendo de información del área de mantenimiento en BIO D.*

El personal administrativo labora 48 horas semanales de lunes a viernes, por el rol que desempeñan no hay ningún tipo de recargo y por el monto salarial, no hay auxilio de transporte, el valor prestacional mensual es de \$ 3.278.813 para un total de \$ 8.903.813 como se ve en la tabla 22, seguidamente se multiplica el valor unitario del costo administrativo por el número de personas que son 8, para un total de \$ 53.422.875 mensuales de la nómina administrativa. Por otro lado, se estima en materia de capacitaciones al personal administrativo y operativo en \$20.000.000 anual, que se tienen previstos utilizarse paulatinamente en los meses del año, ver tabla 23.

**Tabla 22. Costo administrativo Salarios**

<b>Costo</b>	<b>Área administrativa Mensual</b>	
Salario	\$	5.625.000
Auxilio de transporte	\$	-
Horas Extras	\$	-
Seguridad Social	\$	1.544.625
Parafiscales	\$	506.250
Prestaciones Sociales	\$	1.227.938
<b>Recargos salariales</b>		
<b>Costo administrativo</b>	<b>\$</b>	<b>8.903.813</b>

*Nota: Elaboración propia del autor partiendo de información del área de mantenimiento en BIO D.*

El salario y las prestaciones mensuales de la nómina administrativa de mantenimiento se anualiza con la tasa de oportunidad  $0,001 T_{EM}$  efectiva mes en 12 periodos, seguidamente se suman con las capacitaciones del año para un total \$ 127.526.067, como se ve reflejado en la tabla 23.

**Tabla 23. Anualización de costo administrativos**

<b>Descripción costo</b>	<b>Costo Mes</b>	<b>Costo Anualizado</b>
Salario	5.625.000	\$ 67.929.788
Prestaciones	3.278.813	\$ 39.596.279
Capacitaciones		\$ 20.000.000
<b>Total</b>		<b>\$ 127.526.067</b>

*Nota: Elaboración propia del autor partiendo de información del área de mantenimiento en BIO D.*

Posteriormente se hace una relación del salario administrativo con el número de planes de mantenimiento de todas las plantas, se compara con la cantidad de planes de mantenimiento de la

caldera pirotubular, con la finalidad desagregar el costo de 2.641 planes de mantenimiento de toda la planta de producción de Biodiesel que cuesta \$127.236.067, la gestión administrativa se relaciona con cada uno de los planes de activos de estudio, como se ve en la tabla 24.

**Tabla 24. Costos administrativos Jerarquía de activos**

JERARQUIA DE ACTIVOS	DESCRIPCION	Planes de mantenimiento	Relación %	Costo
B-13001	Caldera horizontal JCT	52	1,97%	\$ 2.510.926
BPV-13001	Parrilla viajera derecha No1	4	0,15%	\$ 193.148
MR-13019	Motor reductor parrilla viajera derecha No1	2	0,08%	\$ 96.574
BPV-13002	Parrilla viajera izquierda No2	4	0,15%	\$ 193.148
MR-13018	Motor reductor parrilla viajera izquierda No2	2	0,08%	\$ 96.574
VTF-13001	Ventilador tiro forzado alimentación aire caldera 1	1	0,04%	\$ 48,287
MVT-13001	Motor ventilador tiro forzado 1	6	0,23%	\$ 289.722
VTF-13002	Ventilador tiro forzado alimentación aire caldera 2	1	0,04%	\$ 48,287
MVT-13002	Motor ventilador tiro forzado 2	6	0,23%	\$ 289.722
VTF-13003	Ventilador alimentación aire caldera sobre fuego	0	0,04%	\$ 48,287
MVT-13003	Motor ventilador tiro forzado sobre fuego	4	0,15%	\$ 193.148
<b>Total</b>		<b>83</b>	<b>3,14%</b>	<b>\$4.007.824</b>

*Nota: Elaboración propia del autor partiendo de información del área de mantenimiento en BIO D.*

Por último, se consolidan los costos totales anualizados de la mano de obra del personal técnico, rutinas de mantenimiento y costo administrativo del departamento de mantenimiento, en la tabla 25 se describe los costos totales de mantenimiento preventivo.

**Tabla 25. Costos totales de mantenimiento preventivo.**

JERARQUIA DE ACTIVOS	DESCRIPCION	Costo administrativo anualizado	Costo mantenimiento anualizado	Costo total de mantenimiento anualizado
B-13001	Caldera horizontal JCT	\$ 2.510.926	\$ 63.424.838	\$ 65.935.764
BPV-13001	Parrilla viajera derecha No1	\$ 193.148	\$ 22.752.473	\$ 22.945.621
MR-13019	Motor reductor parrilla viajera derecha No1	\$ 96.574	\$ 2.550.142	\$ 2.646.716

JERARQUIA DE ACTIVOS	DESCRIPCION	Costo administrativo anualizado	Costo mantenimiento anualizado	Costo total de mantenimiento anualizado
BPV-13002	Parrilla viajera izquierda No2	\$ 193.148	\$ 22.752.473	\$ 22.945.621
MR-13018	Motor reductor parrilla viajera izquierda No2	\$ 96.574	\$ 2.550.142	\$ 2.646.716
VTF-13001	Ventilador tiro forzado alimentación aire caldera 1	\$ 48.287	\$ 192.318	\$ 192.318
MVT-13001	Motor ventilador tiro forzado 1	\$ 289.722	\$ 1.079.688	\$ 1.369.410
VTF-13002	Ventilador tiro forzado alimentación aire caldera 2	\$ 48.287	\$ 192.318	\$ 192.318
MVT-13002	Motor ventilador tiro forzado 2	\$ 289.722	\$ 1.079.688	\$ 1.369.410
VTF-13003	Ventilador alimentación aire caldera sobre fuego	\$ 48.287	\$ 192.318	\$ 192.318
MVT-13003	Motor ventilador tiro forzado sobre fuego	\$ 193.148	\$ 555.232	\$ 748.380
<b>Total</b>		<b>\$ 4.007.824</b>	<b>\$ 117.484.904</b>	<b>\$ 121.492.728</b>

*Nota: Elaboración propia del autor partiendo de información del área de mantenimiento en BIO D.*

### **6.2.5.5 Costos de mantenimiento correctivos**

Los costos de mantenimiento correctivo dados en la jerarquía de activos de la caldera pirotubular se estimaron a partir de las prioridades dadas por el Software de mantenimiento, con una línea de tiempo del 2011 al 2022, los datos son correspondientes a las horas hombre de técnico y auxiliar de mantenimiento, los costos representativos son correspondientes al atascamiento de las parrillas BPV-13001 y BPV-13002 el cual requieren intervenciones inmediatas por el área de mantenimiento, en los casos que la caldera B-13001 falla estas corresponden a la instrumentación asociada del equipo.

Los mantenimientos correctivos no todo hacen referencia a paradas del sistema de generación vapor, algunos hacen referencias a solicitudes de inspección inmediatas por la operación, mantenimientos menores y otros corresponden a fallas repentinas de los activos donde hay afectaciones directas en la producción de biodiesel, en la tabla 26 se describen los costos correctivos por activo.

**Tabla 26. Costos de mantenimiento correctivo**

<b>Jerarquía de activos</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>	<b>2021</b>	<b>2022</b>
B-13001	\$ 237.435	\$ 1.639.953	\$ 3.606.380	\$ 3.009.111	\$ 3.614.043	\$ 1.539.720	\$ 2.831.109	\$ 1.261.411	\$ 2.263.370	\$ 1.513.797	\$ 1.510.190	\$ 1.810.666
BPV-13001	\$ 48.238	\$ 59.359	\$ 1.023.976	\$ 2.441.595		\$ 2.026.009	\$ 356.153	\$ 1.350.673		\$ 144.715	\$ 289.430	\$ 2.812.625
BPV-13002		\$ 126.156	\$ 237.435	\$ 144.715	\$ 4.556.494	\$ 3.183.729	\$ 192.953			\$ 59.359	\$ 3.421.164	\$ 315.427
MR-13018										\$ 675.336		
MR-13019										\$ 59.359		
MVT-13001					\$ 252.312				\$ 96.477			
MVT-13002							\$ 204.074					
MVT-13003		\$ 178.076										
VTF-13002	\$ 96.477											
VTF-13003			\$ 118.718									
<b>Total</b>	<b>\$ 382.150</b>	<b>\$ 2.003.545</b>	<b>\$ 4.986.508</b>	<b>\$ 5.595.421</b>	<b>\$ 8.422.848</b>	<b>\$ 6.749.459</b>	<b>\$ 3.584.289</b>	<b>\$ 2.612.084</b>	<b>\$ 2.359.846</b>	<b>\$ 2.452.566</b>	<b>\$ 5.220.784</b>	<b>\$ 4.938.718</b>

*Nota: Elaboración propia del autor partiendo de información del área de mantenimiento en BIO D.*

### 6.2.6 Costo de tiempo perdido Ctp

En el apartado de análisis de información se detalló el numeral de la disponibilidad mecánica del Sistema de Generación de Vapor, el cual, al promediar los últimos 8 años de disponibilidad mecánica, muestra 97.25% en el suministro del vapor a las plantas de producción de Biodiesel. Se calcula el Costo directo por No Disponibilidad por fallas (CND) que implica no poder utilizar un equipo, debido a reparaciones o modificaciones causadas por fallas Imprevistas, a partir del valor del Costo de Producción en el Tiempo CPT calculado en apartados anteriores, correspondiente a \$2.131.800.000 años, se estima CND cuyo valor es correspondiente a \$ 58.624.500,00 calculados con la siguiente relación.

#### COSTOS DIRECTOS POR NO DISPONIBILIDAD POR FALLAS

$$CND = CPT * (1 - A)$$

CND = Costo de no disponibilidad

CPT = Costo de la producción en el tiempo

A = Disponibilidad

Como paso siguiente, se caracteriza el costo directo por no disponibilidad por fallas CNP en la jerarquía de activos en la caldera pirotubular, para ellos, se parte de la tabla actividades de parada de planta no programada en el tiempo, ver el apartado 6.2.3 Paradas de planta no programadas. En el recuadro de la tabla 27

**Tabla 27. Costos de no disponibilidad en la jerarquía de activos caldera piro tubular.**

Jerarquía de activos		Descripción	Indisponibilidad %	Costo tiempos perdidos anualizado
B-13001		Caldera horizontal JCT	63%	\$ 37.071.904
	BPV-13001	Parrilla viajera derecha No1	17%	\$ 10.115.424
		MR-13019 Motor reductor parrilla viajera derecha No1	0%	\$ -
	BPV-13002	Parrilla viajera izquierda No2	11%	\$ 6.446.897
		MR-13018 Motor reductor parrilla viajera izquierda No2	0%	\$ -
	VTF-13001	Ventilador tiro forzado alimentación aire caldera 1	8%	\$ 4.585.659
		MVT-13001 Motor ventilador tiro forzado 1	0%	\$ -
	VTF-13002	Ventilador tiro forzado alimentación aire caldera 2	0%	\$ -
		MVT-13002 Motor ventilador tiro forzado 2	0%	\$ -
	VTF-13003	Ventilador alimentación aire caldera sobre fuego	0%	\$ -
		MVT-13003 Motor ventilador tiro forzado sobre fuego	1%	\$ -
<b>Total</b>			<b>100%</b>	<b>\$ 58.219.883</b>

*Nota: Elaboración propia del autor partiendo de información del área de mantenimiento en BIO D.*

### 6.2.7 Costos de dar de baja Cdb

La empresa al estar ubicada en zona franca tiene lineamientos específicos en adquisición y disposición de quipos, la definición de zona franca se define como área geográfica delimitada dentro del territorio nacional, en donde se desarrollan actividades industriales de bienes y servicios, bajo una normatividad en materia tributaria, aduanero y de comercio exterior. Según la ley 1004 (2005) artículo 1 menciona, las mercancías ingresadas en esta zona se consideran fuera del territorio aduanero nacional para efectos de impuestos a las importaciones y a las exportaciones.

La mercancía obsoleta que están fuera de servicio que se consideran sin ningún uso para la operación, son retiradas de zona franca bajo el concepto de aprovechamiento o disposición final, estas ya no deben tener valor comercial y lo único que se paga es el impuesto del 19% de la nacionalización de residuos que corresponde al IVA pagado a la DIAN.

La empresa hace un proceso de destrucción con la finalidad que no se pueda reutilizar o vender con un fin comercial el activo, el desmontaje del activo lo hace el personal interno de mantenimiento y la destrucción lo hace un tercero en los casos que aplique, el primer parámetro a considerar es el peso del activo para la estimación el costo de destrucción. Este radica en promedio en 16.9 \$/Kg que en casos donde se requiera desmontajes especializados que no pueda hacer el personal interno de mantenimiento lo adiciona el contratista, por otro lado, el precio de venta como chatarra a Industrias Diaco es de \$1.100 por kilogramos, este ya incluye el flete por acuerdos con el proveedor de disposición , ver tabla 28.

**Tabla 28 Costos de disposición de la jerarquía de activos.**

JERARQUIA DE ACTIVOS	DESCRIPCION	PESO KG	DESMONTE RECURSO INTERNO	DESTRUCCI ÓN CONTRATIS TA	VENTA A INDUSTRIA S DIACO	NACIONALIZ ACIÓN DEL RESIDUO IVA 19%	TOTAL, DISPOSICI ÓN	
B- 13001	Caldera horizontal JCT	78.000	\$ 3.340.610	\$ 52.000.000	\$ 101.400.000	\$ 19.266.000	\$ 74.606.610	
BPV- 13001	Parrilla viajera derecha No1	8.000	\$ 434.145	\$ 0	\$ 10.400.000	\$ 1.976.000	\$ 2.410.145	
	MR- 13019	Motorreductor parrilla viajera derecha No1	12	\$ 29.679	\$ 600.000	\$ 15.600	\$ 2.964	\$ 632.643
BPV- 13002	Parrilla viajera izquierda No2	8.000	\$ 434.145	\$ 0	\$ 10.400.000	\$ 1.976.000	\$ 2.410.145	
	MR- 13018	Motorreductor parrilla viajera izquierda No2	12	\$ 29.679	\$ 600.000	\$ 15.600	\$ 2.964	\$ 632.643
VTF- 13001	Ventilador tiro forzado alimentación aire caldera 1	400	\$ 192.953	\$ 500.000	\$ 520.000	\$ 98.800	\$ 791.753	
	MVT- 13001	Motor ventilador tiro forzado 1	30	\$ 59.359	\$ 750.000	\$ 39.000	\$ 7.410	\$ 816.769
VTF- 13002	Ventilador tiro forzado alimentación aire caldera 2	400	\$ 144.715	\$ 500.000	\$ 520.000	\$ 98.800	\$ 743.515	
	MVT- 13002	Motor ventilador tiro forzado 2	30	\$ 59.359	\$ 750.000	\$ 39.000	\$ 7.410	\$ 816.769
VTF- 13003	Ventilador alimentación aire caldera sobre fuego	400	\$ 144.715	\$ 500.000	\$ 520.000	\$ 98.800	\$ 743.515	
	MVT- 13003	Motor ventilador tiro forzado sobre fuego	50	\$ 59.359	\$ 750.000	\$ 65.000	\$ 12.350	\$ 821.709

*Nota: Elaboración propia del autor partiendo de información del área de mantenimiento y contratistas de BIO D.*

En la tabla anterior las parillas no tienen destrucción dado que parte de la actividad de desmontaje consiste en el desarme de cada eslabón, por lo que se entrega al proveedor de disposición en esas condiciones.

### **6.2.8 CAPEX y OPEX**

Se consolida los cada uno de los Costó del Ciclo de Vida de la jerarquía de activo de la caldera pirotubular caso de estudio del sector de Biocombustibles, donde se consolida el CAPEX correspondientes a los gastos e inversiones asociados con bienes físicos, adquisición e instalación del activo.

Posteriormente se consolida el OPEX que representa los costos necesarios de operación y mantenimiento que son los necesarios para garantizar la generación de vapor, allí se detalla los recursos de mano de obra, insumos, costos energéticos, costos de repuestos y servicios de mantenimiento, ver tabla 29

Tabla 29. Consolidado CAPEX y OPEX jerarquía de activos

ACTIVOS	CAPEX		OPERACIÓN Y MANTANIMIENTO OPEX						
	COSTO DE ADQUISICIÓN	COSTO DE INSTALACIÓN	COSTO DE MANO DE OBRA	COSTO DE OPERACIÓN	COSTO ENERGÍA	COSTO ADMINISTRATIVO	COSTO MANO DE OBRA	COSTO EN REPUESTOS	COSTO EN SERVICIOS
<b>B-13001</b>	\$378.009.886	\$639.865.423	\$19.979.019	\$72.191.765	\$	\$2.510.926	\$14.116.994	\$3.979.772	\$45.328.071
<b>BPV-13001</b>	\$138.212.024	\$119.087.337	\$9.745.863	\$132.776.471	\$	\$193.148	\$8.986.623	\$13.765.850	\$
<b>MR-13019</b>	\$2.073.180	\$2.290.141	\$974.586	\$13.277.647	\$1.869.000	\$96.574	\$467.129	\$	\$2.083.013
<b>BPV-13002</b>	\$138.212.024	\$119.087.337	\$9.745.863	\$132.776.471	\$	\$193.148	\$8.986.623	\$13.765.850	\$
<b>MR-13018</b>	\$2.073.180	\$2.748.169	\$974.586	\$13.277.647	\$1.869.000	\$96.574	\$467.129	\$	\$2.083.013
<b>VTF-13001</b>	\$6.910.601	\$8.244.508	\$1.461.879	\$19.916.471	\$	\$48.287	\$192.953	\$	\$
<b>MVT-13001</b>	\$4.146.361	\$2.748.169	\$974.586	\$13.277.647	\$27.412.000	\$289.722	\$1.079.688	\$	\$
<b>VTF-13002</b>	\$6.910.601	\$8.244.508	\$974.586	\$13.277.647	\$	\$48.287	\$192.953	\$	\$
<b>MVT-13002</b>	\$4.146.361	\$2.748.169	\$1.461.879	\$19.916.471	\$27.412.000	\$289.722	\$1.079.688	\$	\$
<b>VTF-13003</b>	\$6.910.601	\$8.244.508	\$974.586	\$13.277.647	\$	\$48.287	\$192.953	\$	\$
<b>MVT-13003</b>	\$3.455.301	\$2.748.169	\$1.461.879	\$19.916.471	\$8.690.000	\$193.148	\$555.232	\$	\$
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 691.060.121</b>	<b>\$ 916.056.439</b>	<b>\$ 48.729.315</b>	<b>\$ 663.882.353</b>	<b>\$ 77.252.000</b>	<b>\$ 4.007.824</b>	<b>\$ 36.317.965</b>	<b>\$ 31.511.473</b>	<b>\$ 49.494.098</b>

Nota: Elaboración propia del autor partiendo de información del área de mantenimiento y contratistas de BIO D

### 6.3 Cálculo del Ciclo de Vida del Activo

En el siguiente apartado se realizará el análisis del Ciclo de Vida de la caldera pirotubular del sector de Bio combustibles, correspondiente al tercer objetivo del presente trabajo de grado, partimos de la construcción del CAPEX y OPEX de la jerarquía de activos descrita en el segundo objetivo. En primera medida se estima la vida útil de la jerarquía de activos, este valor se da mediante la experiencia e información suministrada por los fabricantes de los equipos, se toman activos por clase descritos en la tabla 30 con miras a tener curvas características de cada uno de ellos.

#### 30. Vida útil por clase de activo para estimar su ciclo de vida

ACTIVOS	DESCRIPCION	VIDA UTIL [AÑOS]
B-13001	Caldera horizontal JCT	40
BPV-13001	Parrilla viajera derecha N1	3
MR-13019	Motorreductor parrilla viajera derecha N1	10
VTF-13001	Ventilador tiro forzado alimentación aire caldera N1	20
MVT-13001	Motor ventilador tiro forzado N 1	20

*Nota: Elaboración propia del autor*

Posteriormente con el CAPEX que consta del valor de adquisición e instalación, se emplea el método de depreciación lineal el cual es concebido para los activos de la organización, este método tiene como característica que el valor del activo se consume uniformemente en el transcurso de su vida útil.

Para la construcción del análisis del ciclo de vida de los activos propuesto se utilizan dos estimaciones diferentes, la primera es el cruce del CAPEX correspondiente al valor del activo en

el tiempo vs el OPEX de mantenimiento, la segunda es con el flujo de caja en cada uno de los periodos mediante el CAUE.

Los datos en los dos escenarios son anualizados y por medio de herramientas financieras se proyecta al año cero y al año estimado de su vida útil, la estimación se proyecta con una tasa de oportunidad 11,7% efectiva anual que es la de la organización; lo anterior se realizan por dos razones: la primera no se cuenta con toda información desde los inicios de la caldera, segundo para proyectar el comportamiento actual en el tiempo.

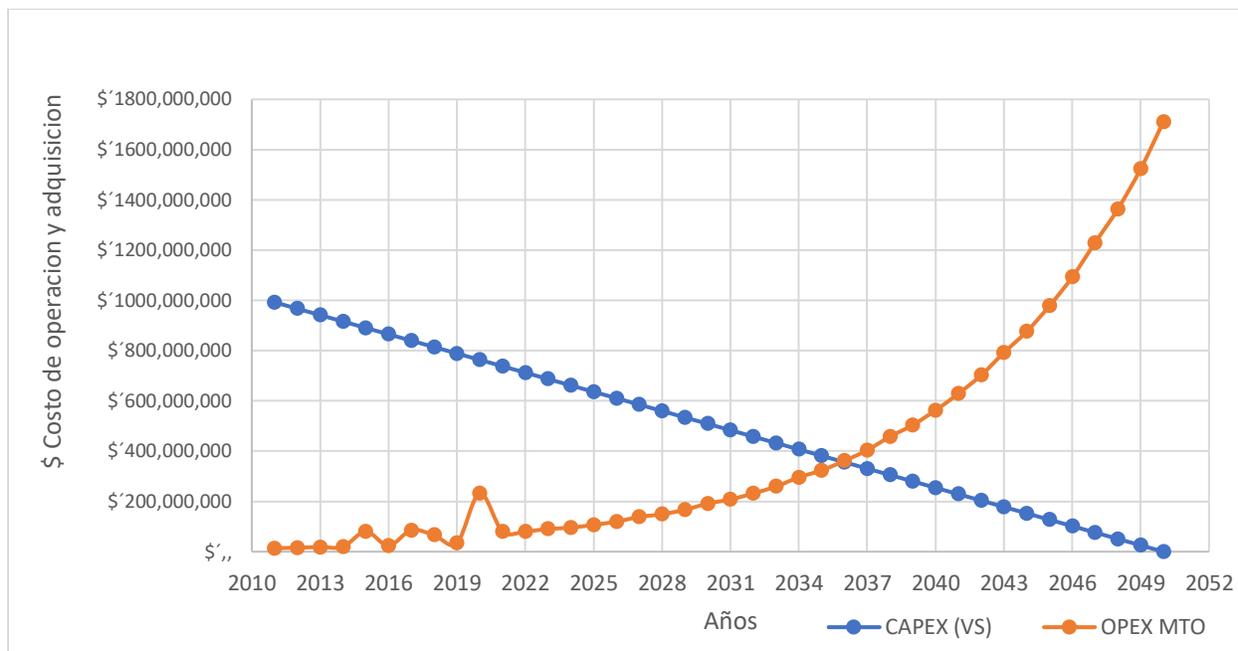
### **6.3.1 Análisis CAPEX y OPEX ciclo de vida jerarquía de activos**

Se compara la depreciación técnica de los activos que corresponden al CAPEX con respecto a los costos de mantenimiento OPEX, de recordar que este incluye el mantenimiento preventivo, los costó administrativo del área, servicios de intervención y repuestos, adicionalmente se incorporan los costó correctivos en el tiempo.

#### **6.3.1.1 Curva CAPEX y OPEX caldera JCT B-13001**

A continuación, se proyecta el cruce de del CAPEX y el OPEX de la jerarquía de activos, se inicia con la caldera horizontal JCT B-13001 el cual se adquirió en 2010 y tiene una vida útil estimada de 40 años, ver ilustración 16

**Figura 16. Grafica CAPEX VS OPEX caldera B-13001**



*Nota: Elaboración propia del autor*

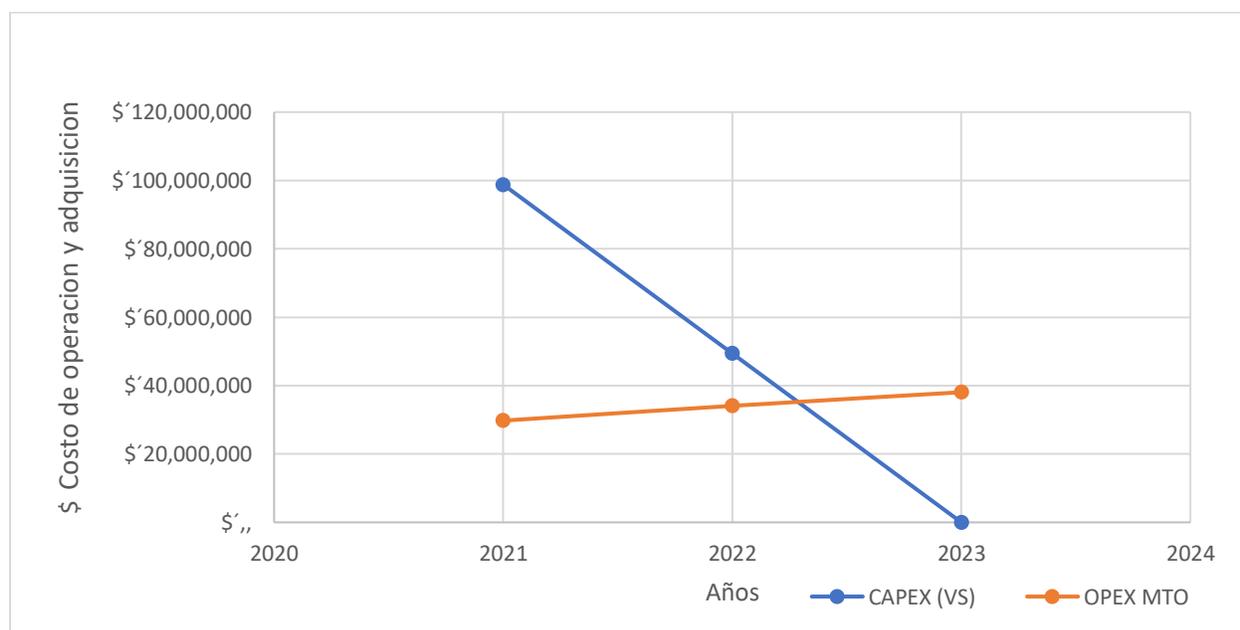
Se aprecia en la curva del CAPEX la disminución de forma uniforme en el tiempo mediante la depreciación lineal, seguido tenemos la curva OPEX de mantenimiento, el cual se aprecia las desviaciones producto de los correctivos y las variaciones del presupuesto de mantenimiento en los años 2015 al 2020, es de resaltar una variación representativa en el 2020 que corresponde a una intervención correctiva a los tubos del segundo paso estimada en \$232.000.000 producto del contacto del agua fría ocasionando rotura de los tubos.

Se puede apreciar el cruce del CAPEX y el OPEX en el año 2036 donde los costos de mantenimiento superan el valor del activo dado por su depreciación, este es un primer escenario que permite determinar una posible reposición del activo.

### 6.3.1.2 Curva CAPEX y OPEX parrilla viajera BPV-13001

Se proyecta los costos asociados al CAPEX y al OPEX de la parrilla viajera BVP-13001, esta se adquirió en el 2021, es considerada como un componente rotativo que por su valor de adquisición de \$148.212.024 es representativa para el presupuesto de mantenimiento, la parrilla tiene una vida útil estimada de dos a 3 años, el cual en cada parada de planta del sistema de generación se le realiza un overhaul que consiste en dejarla el activo en mantenimiento 0, en otras palabras, se restaurar la maquinaria a su estado de fábrica o que se asemeje lo más cerca posible cambiando, se reemplazan los eslabones motriz, lateral y común del activo, ver figura 17.

**Figura 17. CAPEX VS OPEX parilla viajera BPV-13001**



*Nota: Elaboración propia del autor*

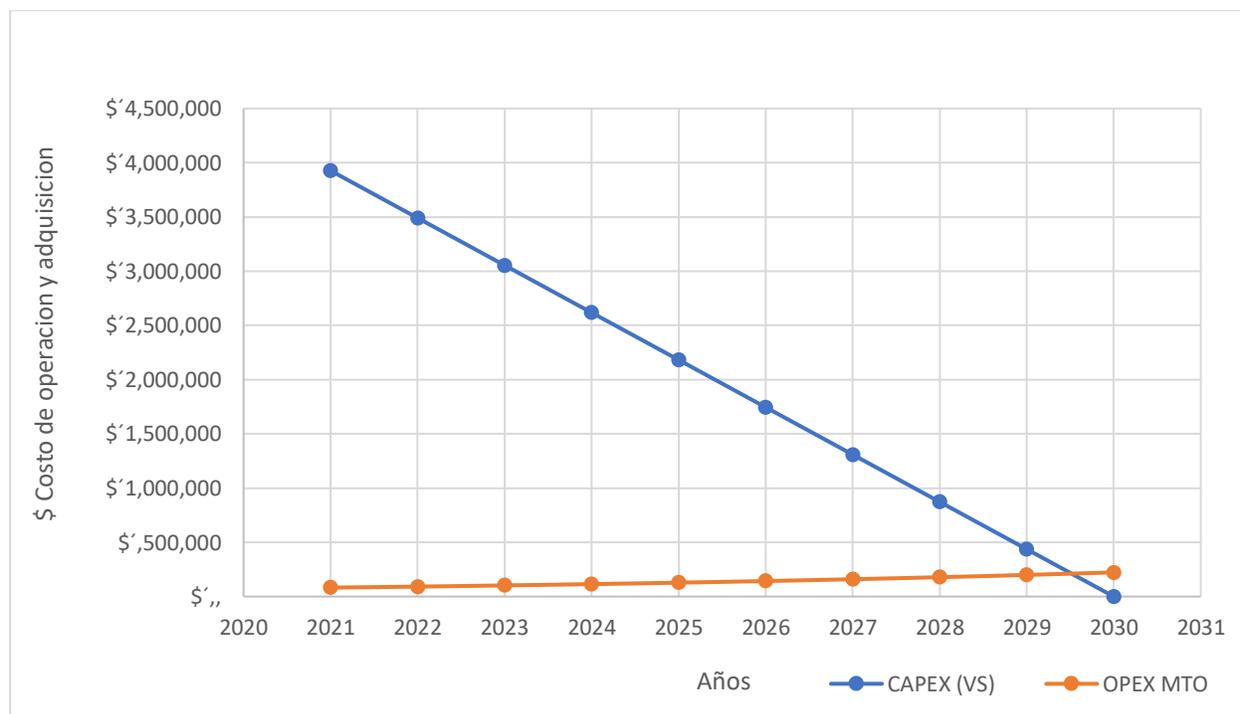
Al cruzar las curvas características del CAPEX y OPEX de la parrilla B-13001 se identifica que los costos de mantenimiento superan el valor del activo en el primer trimestre del 2022, es de resaltar que en la práctica las parrillas se cambian en cada año correspondiente a cada

parada de planta, es decir se tiene una armada lista a ser intercambiada por la que se encuentra montada en la caldera, bajo esta medida se puede garantizar la confiabilidad y disponibilidad del sistema de generación de vapor.

### 6.3.1.3 Curva CAPEX y OPEX Motorreductor MR-13019

Las curvas características el OPEX y CAPEX del motorreductor MR-13019, corresponden a una adquisición reciente del activo en el 2021, se estima una vida útil de 10 años, como se aprecia en la figura 18

**Figura 18. Grafica CAPEX y OPEX Motorreductor MR-13019**



*Nota: Elaboración propia del autor*

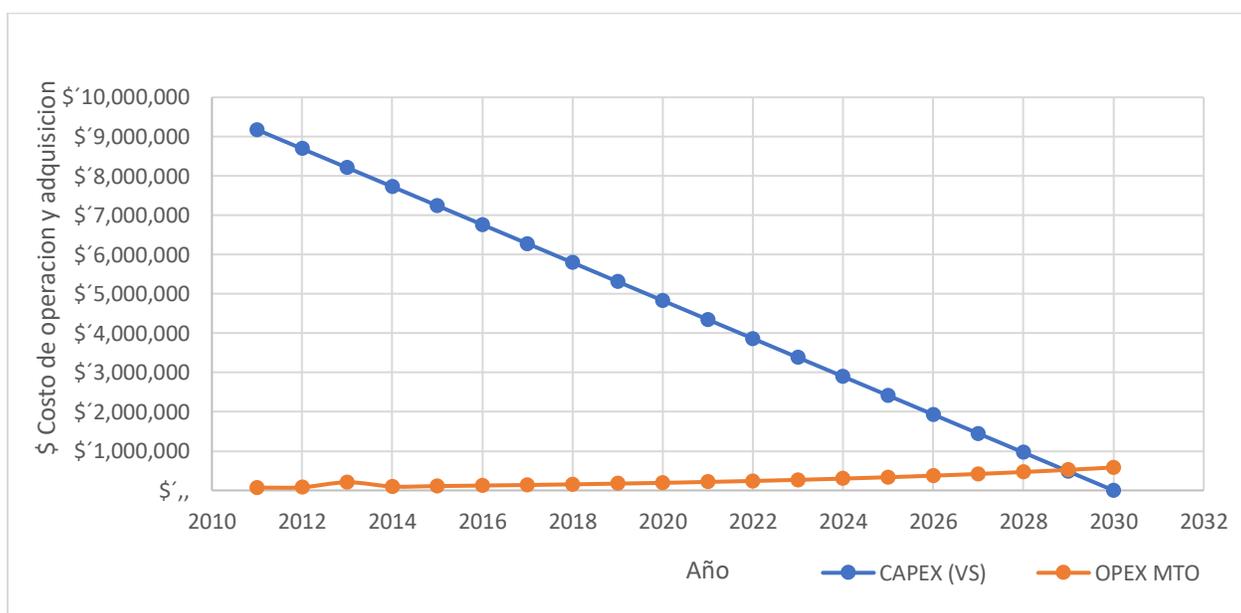
Se identifican que los costos de mantenimiento no aumentan de forma representativa en el tiempo, cruzando la depreciación técnica CAPEX con los costos de mantenimiento OPEX, se identifica que, en el segundo trimestre del 2029, los costos de mantenimiento superan al valor del

activo, se puede estimar la reposición del activo dependiendo de la operación y el desgaste que tenga se puede generar un posible cambio.

#### 6.3.1.4 Curva CAPEX y OPEX Ventilador tiro forzado VTF-13001

Las curvas características del CAPEX y OPEX del del ventilador de tiro forzado VTF-13001 parten de la adquisición del activo desde los inicios del sistema de generación 2010 y se tiene una vida útil estimada de 20 años, como se ilustra en la figura 19.

**Figura 19. Grafica CAPEX y OPEX Ventilador tiro forzado VTF-13001**



*Nota: Elaboración propia del autor*

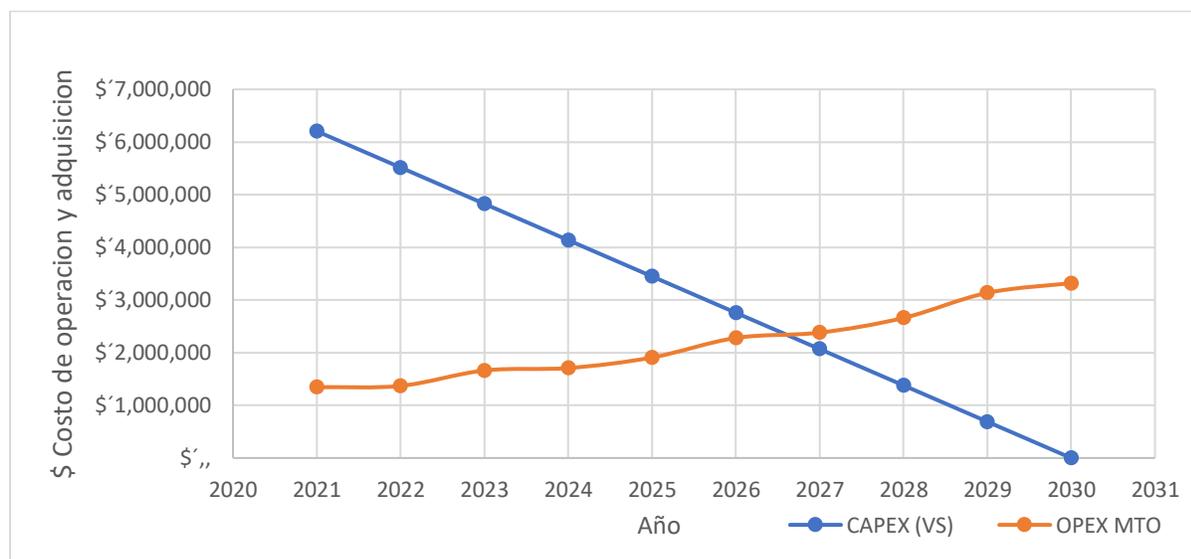
El comportamiento de los costos de mantenimiento OPEX del ventilador del tiro forzado VTF-13001 a través del tiempo se ha mantenido estable, eso quiere decir que en los 10 años que lleva en funcionamiento no muestra un comportamiento creciente en sus costos de mantenimiento sin que hayan superado el costo de adquisición CAPEX, con la proyección de las curvas se estima un posible cambio en el segundo trimestre del 2028, también dependerá de las

condiciones de obsolescencia que se encuentre en ese instante para considerar o mantener el activo.

### 6.3.1.5 Curva CAPEX y OPEX Motor ventilador tiro forzado MVT-13001

Finalmente tenemos las curvas CAPEX y OPEX del ventilador de tiro forzado MVT-13001, este activo se repuso en el 2021 y tiene una vida útil estimada de 10 años, como se ve en la figura 20

**Figura 20. CAPEX y OPEX Motor ventilador tiro forzado MVT-13001.**



*Nota: Elaboración propia del autor*

El comportamiento de los costos de mantenimiento OPEX a través del tiempo y la proyección estimada con base a los históricos, muestra variaciones no uniformes dados a los costos correctivos que ha presentado el activo, las estimaciones del cruce de las gráficas, describen que el 2026 tercer semestre los costos de mantenimiento superaran el valor del activo, el cual se podría proponer un posible cambio.

### **6.3.2 Análisis ciclo de vida jerarquía de activos mediante el CAUE**

Se emplea el Costo Anual Uniforme Equivalente CAUE que consiste en convertir todos los ingresos y egresos, en una serie uniforme de pagos, en materia de ingresos corresponde a la venta de vapor que es suministrado a las plantas de Biodiesel, se estima en un 40% de los costos de operación anualizado, con respecto a los egresos hacen parte al OPEX de mantenimiento y operación, adicionalmente se incorpora los costos de indisponibilidad por mantenimiento correctivos que suspenden la generación de vapor.

La metodología para estimar el ciclo de vida de la jerarquía de activos consiste en generar escenarios para cada uno de los periodos de la vida útil del activo, donde se hace la diferencia de ingresos menos egresos para sacar el flujo neto, de allí sacamos el Valor Presente Neto VPN, que traer valores futuros a un periodo de tiempo determinado, de allí aplicamos el Costo Anual Uniforme Equivalente CAUE correspondiente al periodo, una vez se tengan cada CAUE correspondiente a cada año del activo se realiza la gráfica del ciclo de vida del activo.

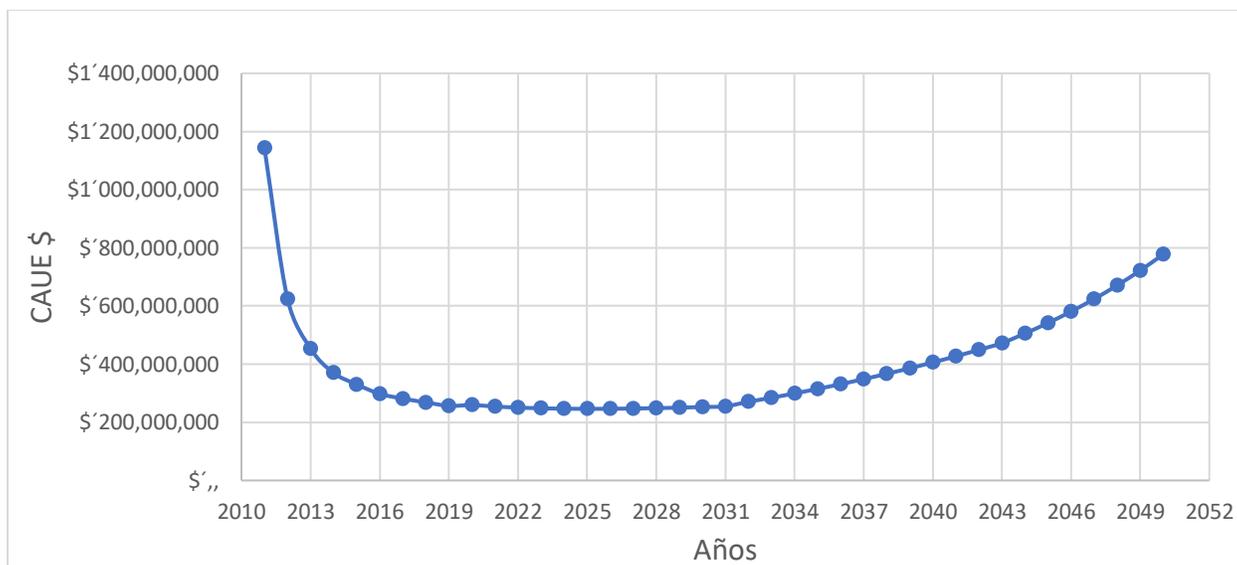
#### **6.3.2.1 Ciclo de vida caldera JCT B-13001 CAUE**

La caldera pirotubular B-13001 es el activo más representativo del sistema de generación de vapor, el cual en la estimación del costo de ciclo de vida se parte de un valor de adquisición e instalación en \$ 1.017.875.308 correspondiente al CAPEX, posteriormente los costos de operación y mantenimiento OPEX estimado \$ 435.164.256 al año en el periodo actual de presente trabajo, el margen de ganancia en el suministro de vapor a las plantas de biodiesel corresponde al 30% de los costos de operación total, recibiendo \$ 609.229.959 de ingresos

anuales, mediante la herramienta financiera del Costo Anual Equivalente CAUE se proyecta bajo escenarios el flujo en los periodos a los largo de su vida útil.

Como característica representativa del análisis del ciclo de vida de la caldera se incluye el costo de indisponibilidad por mantenimiento correctivo que detiene todo el sistema de generación de vapor, dejando de producir vapor disminuyendo los ingresos estimados en \$37.745.939 bajo históricos captados en el software de mantenimiento. A continuación, se representa el comportamiento del CAUE en el tiempo en la caldera B-13001, ver figura

**Figura 21. Grafica Costo del Ciclo de Vida caldera B-13001**



*Nota: Elaboración propia del autor*

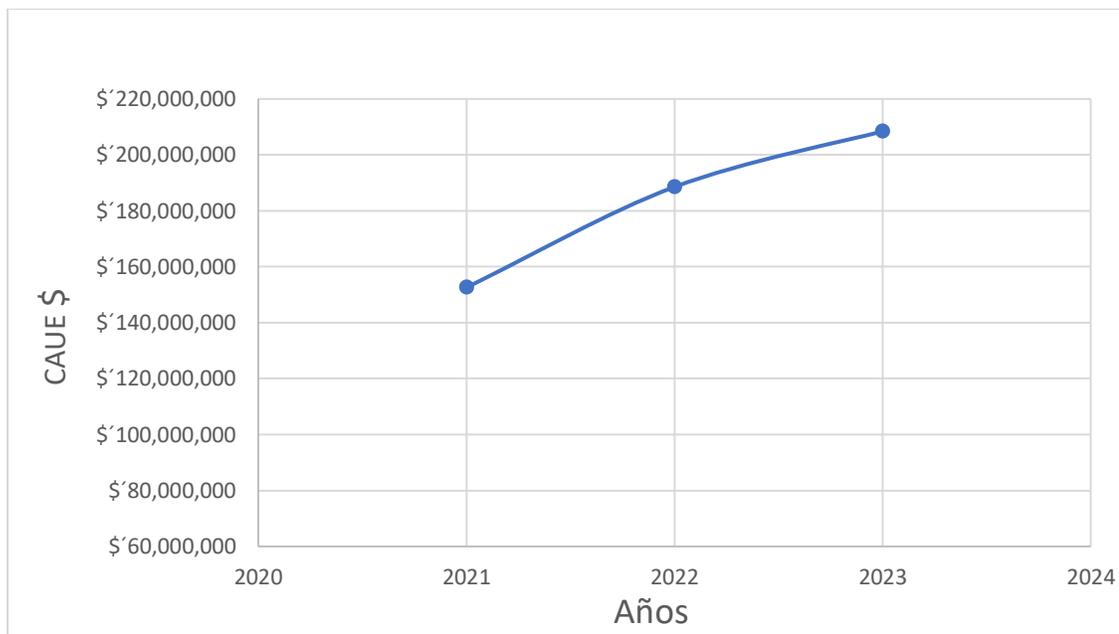
Se puede identificar en la gráfica del Costo del Ciclo de vida de la caldera B-13001, un punto de inflexión donde los costos de operación, mantenimiento e indisponibilidad del sistema de generación de vapor superan a los ingresos en el suministro de vapor, influyendo el

comportamiento del CAUE al alza, con las herramientas financieras se estima un posible cambio en el año 2032, este puede variar en función de los costos correctivos, indisponibilidad, costos operativos en materia prima y energía que se presente en los siguientes años, por último también está en función de los ingresos de la venta de vapor que hacen parte fundamental del flujo de caja en el presente análisis.

### **6.3.2.2 Ciclo de vida caldera parrilla viajera BPV-13001**

La parrilla BVP-13001 componente rotativo de la caldera pirotubular, se parte de un valor de adquisición \$ 148.212.024 correspondiente al CAPEX, esta parrilla se instaló en el 2021, los costos característicos de operación y mantenimiento OPEX estimado \$ 165.467.955 al año del periodo actual de presente trabajo, el margen de ganancia en el rol que realiza que es transportar carbón dentro de la caldera, que corresponde 30% de los costos de operación total de la parrilla, recibiendo \$ 231.655.137 de ingresos anuales, mediante la herramienta financiera del Costo Anual Equivalente CAUE se proyecta bajo escenarios el flujo en los periodos a lo largo de su vida útil ver figura 22.

Se incluye el costo de indisponibilidad por mantenimiento correctivo que detiene todo el sistema de generación de vapor, \$ 73.363.104 ocasionando la caída del sistema de generación de vapor, dentro de los registros las parrillas son el componente que de forma recurrente detienen el sistema de generación de vapor.

**Figura 22. Costo del ciclo de vida parilla BPV-13001**

*Nota: Elaboración propia del autor*

Analizando la gráfica del Ciclo de Vida de la parrilla BPV-13001, se identifica que desde su primer año los Costos Anual Equivalentes CAUE están al alza, esto se debe inicialmente a los costos de indisponibilidad que presenta el activo que ha causado paradas de planta correctivas donde no se generan vapor a las plantas de Bio Diesel, también es de considerar, que, aunque el valor del activo es representativo la vida útil es muy limitada.

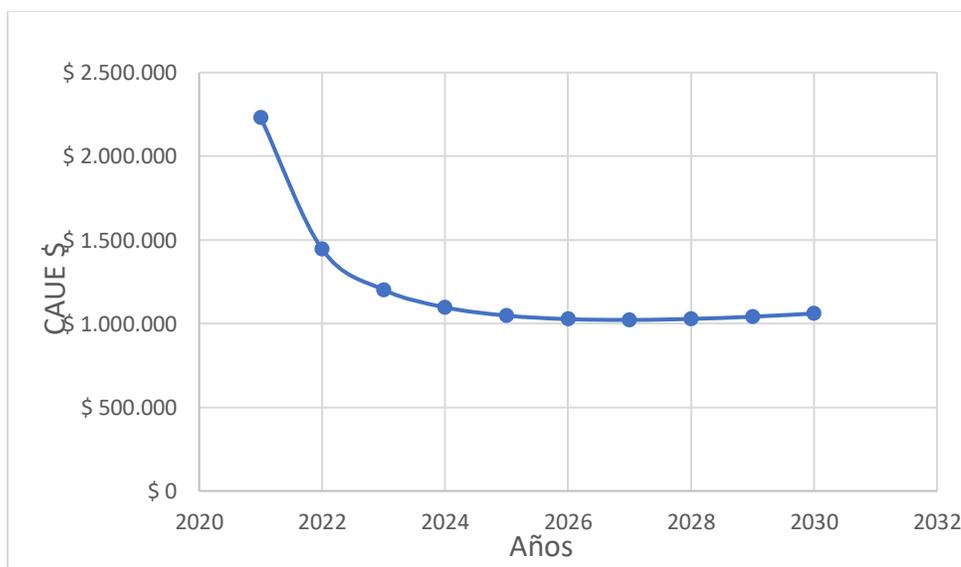
Por estrategia del área de mantenimiento se le hacen overhaul cada año y al cumplir dos años se le da de baja al activo, con fines de garantizar una alta disponibilidad y confiabilidad en el sistema de generación de vapor. Con los resultados obtenidos se identifica que en análisis de ciclo de vida en activos que tienen poca vida útil se descarta el método CAUE al no poder proyectar los ingresos y egresos en periodos más representativos.

Se puede identificar en la gráfica del Costo del Ciclo de vida de la caldera B-13001, un punto de inflexión donde los costos de operación, mantenimiento e indisponibilidad del sistema de generación de vapor superan a los ingresos en el suministro de vapor, influyendo el comportamiento del CAUE al alza, con las proyecciones con las herramientas financieras se estima un posible cambio en el año 2032.

### 6.3.2.3 Ciclo de vida ventilador tiro forzado MR-13019

El motor reductor MR-13019 costo \$ 4.363.321 en el 2021 correspondiente al CAPEX, tiene una vida estimada por el fabricante de 10 años, sus costos anuales de operación y mantenimiento son \$ 3.074.053 que corresponden al OPEX, los ingresos que genera al prestar su servicio son correspondientes al 40% de los costos de operación, no tiene costos de indisponibilidad que hallan detenido el sistema de generación, de tener presente que el activo solo se ha repuesto una sola vez, en la figura 23 se identifica los costos asociados al CAUE

**Figura 23. Costo del Ciclo de vida motor reductor mr-13019**



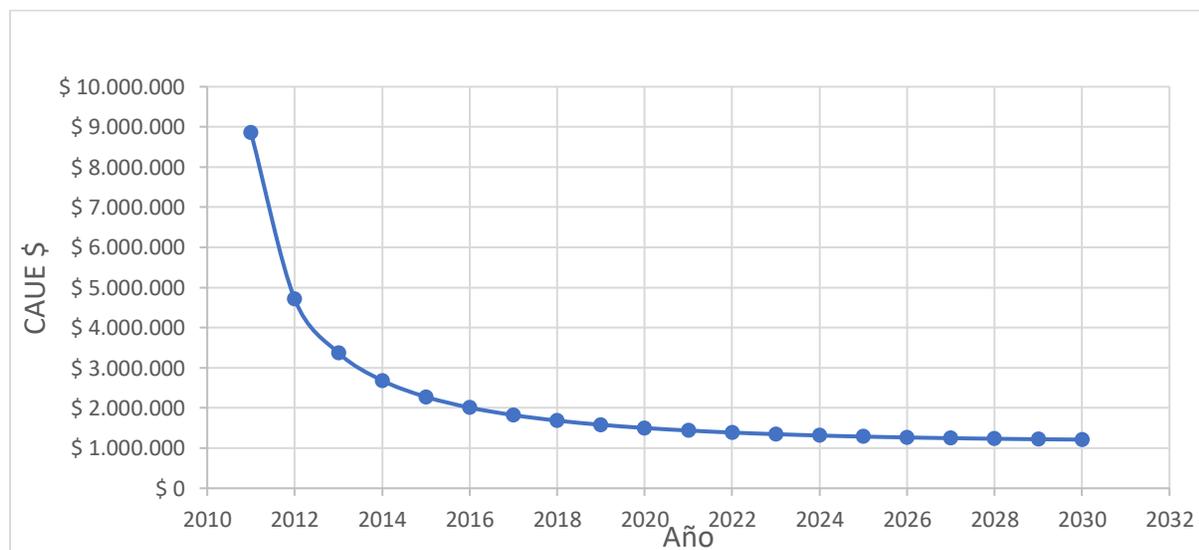
*Nota: Elaboración propia del autor*

Los costos del Ciclo de Vida al motor reductor MR-13019, se aprecia un comportamiento estable en la proyección de los costos del CAUE, a lo largo de su ciclo de vida en el año 2019 hay un punto de inflexión donde aumentan los costos de operación y mantenimiento con respecto a los ingresos, es de resaltar que es un activo muy confiable. El cual la gerencia de mantenimiento puede considerar o reponerlo por su obsolescencia o mantenerlo según el estado que se encuentre en el tiempo indicado.

#### 6.3.2.4 Ciclo de vida motor ventilador tiro forzado VTF-13001

El ventilado de tiro forzado VTF-13001 está desde el comienzo del sistema de generación de vapor desde el 2011, el valor de adquisición e instalación correspondientes al CAPEX es de \$ 9.658.771, los costos de operación y mantenimiento son de \$ 3.804.299 de mencionar que sus costos de mantenimiento son mínimos y el costo de operación corresponde a la jerarquía de costos estructurada para el presente documento, los ingresos generados por el activo corresponden al 40% de los costos de operación, en la figura 24.

**Figura 24. Costo del ciclo de vida ventilador tiro forzado VTF-13001**



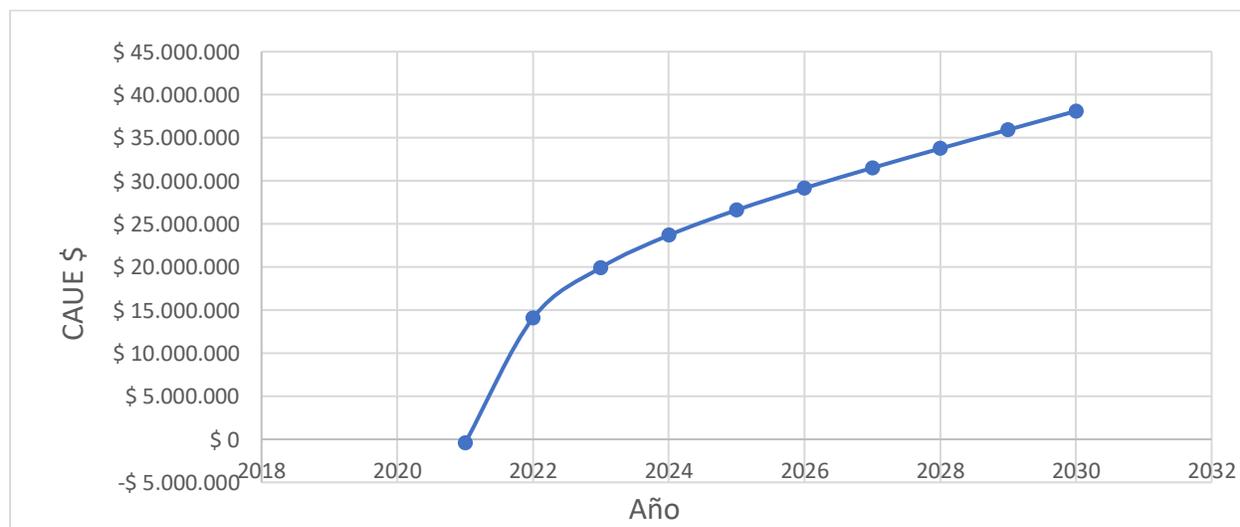
*Nota: Elaboración propia del autor*

Analizando los Costos de Ciclo de vida con el CAUE se aprecia que la curva a los largo de los años no hay ningún aumento, esto se da inicialmente por que los costos de mantenimiento son casi mínimos en los años y no presenta ninguna afectación al sistema de generación de vapor, por lo que con esta herramienta no se puede identificar ningún punto de recambio del activo, la estrategia de reposición del activo estaría en función de su obsolescencia y su deterioro en el tiempo estipulada por las políticas del área de mantenimiento.

### 6.3.2.5 Ciclo de vida Motor ventilador tiro forzado MVT-13001

El motor del ventilador de tiro forzado MVT-13001 se acaba de adquirir en el 2021, con un costo de adquisición \$ 6.894.530 como CAPEX, sus costos de operación y mantenimiento rondan por un valor de \$ 31.631.857 como OPEX, el cual es de resaltar el alto consumo energético que requiere para desempeñar su función, con respecto se estima un 30% de ingresos en la prestación de su servicio para la generación de vapor, en la figura 25 se aprecia los costos de su ciclo de vida.

**Figura 25. Costo del Ciclo de vida motor ventilador MTV-13001**



*Nota: Elaboración propia del autor*

Los costos asociados al Ciclo de Vida de Activo arrojan que desde el comienzo el activo entra a reposición, aunque el activo no presenta costos de indisponibilidad, pero si presenta costos energéticos altos en comparación a los ingresos que se estipularon que produce, este resultado lleva a pensar que activos tan específicos se deberían analizar con el conjunto macro de la caldera y que tomarlos como casos puntuales, con miras de no sesgar los posibles análisis en función de los costos.

## **7 Impacto esperado y alcanzados**

### **7.1 Impacto esperado**

La implementación del ciclo de vida en la caldera permitirá maximizar el retorno sobre la inversión, uno de los aspectos más importantes para el área de mantenimiento y financiera es tomar la alternativa de remplazar los activos, mediante los costos del ciclo de vida del activo que se incurren por la inversión, operación y disposición, permitiendo construir el horizonte estratégico para la organización.

Realizar el cálculo de ciclo de vida en los activos de la empresa es un factor clave, este logra mejorar su nivel de competitividad estratégica dado que las tareas de desempeño continúan al mismo nivel, estas se pueden asociar a la productividad, calidad, seguridad y al medio ambiente, que se encuentran directamente relacionadas con la gestión de mantenimiento que se realice, logrando una contribución directa a los objetivos de la organización.

Por ende, el presente trabajo busca mostrar las bondades de aplicar la gestión de activos en la caldera pirotubular en la empresa de biocombustibles e incentivando el análisis del ciclo de vida a otros activos de la organización.

## **7.2 Impacto alcanzado**

El presente trabajo permitió consolidar los costos del CAPEX y OPEX de la caldera pirotubular caso de estudio del sector de biocombustibles, con ello se realizó el análisis de los costos del ciclo de vida del activo, logrando plantear diferentes escenarios de reposición a componentes representativos y críticos en la generación de vapor.

Se propusieron diferentes activos que hacen parte de la caldera pirotubular, el cual permitió identificar el comportamiento del modelo Life Cost Cycle LCC, identificando mejor aplicación en los activos que tienen una vida representativa al igual que su costo de adquisición e instalación.

Para la empresa caso del sector de Biocombustibles, se consolidó una visión estratégica en la reposición asertiva de los activos basado en una estructura de costos, que permite ver un horizonte en función del flujo financiero en ingresos y egresos en los activos caso de estudio.

## 8 Análisis financiero

### 8.1 Costo de implementación

En el presente presupuesto se detallan los recursos necesarios para realizar el proyecto de investigación, como se describen en la tabla 31, en donde se caracteriza los recursos en talento humano, equipos de informática, papelería, gastos de transporte; la fuente de los recursos procede de la asignación salarial de la empresa para la cual trabajo y que está dispuesta a colaborar en el suministro de la información, para aplicar el análisis propuesto en la caldera pirotubular de la organización.

**Tabla 31. Costos de implementación.**

	CONCEPTO	VALOR UNITARIO	CANTIDAD MENSUAL	DURACION (MESES)	VALOR TOTAL
<b>Talento Humano</b>	Sueldo del investigador	\$ 4.000.000	1	12	\$ 48.000.000
	Acompañamiento y revisión director	\$ 150.000	64	3	\$ 28.800.000
	<b>Total</b>				<b>\$ 76.800.000</b>
<b>Software</b>	Windows y office	\$ 124.000	1	1	\$ 124.000
	<b>Total</b>				<b>\$ 124.000</b>
<b>Equipos y papelería</b>	Computador	\$ 50.000	1	12	\$ 600.000
	Internet	\$ 120.000	1	12	\$ 1.440.000
	Fotocopias	\$ 80.000	1	1	\$ 80.000
	<b>Total</b>				<b>\$ 2.120.000</b>
<b>Gastos de transporte</b>	Bogotá - Facatativá	\$ 5.500	60	6	\$ 1.980.000
	<b>Total</b>				<b>\$ 1.980.000</b>
<b>Total</b>					<b>\$ 81.024.000</b>

*Nota: Elaboración propia.*

A partir del año siguiente como ya está parametrizado el modelo de ciclo de vida de la caldera pirotubular, los costos de talento humano disminuirían dado que ya no se requiere asesoría del director de grado, el cual se estima que con una analista de mantenimiento se

alimente el modelo propuesto o en su defecto el director de mantenimiento lo realice, el cual no se cargaría todo el costo al proyecto dado que hace parte de sus funciones.

## 8.2 Utilidad Esperada

Se estima el escenario donde la caldera pirotubular caso de estudio este el punto óptimo de reposición, donde el costo de operación y mantenimiento son superiores a los ingresos generados por el suministro de vapor, bajo la proyección del modelo del ciclo de vida se estima que la empresa estaría perdiendo por no reponer el activo en su primer año vencido un valor de \$ 44.894.064, el cual para el análisis financiero, se tomara como los ingresos al estimar el cambio del activo, ver tabla 32.

**Tabla 32. Flujo de caja del proyecto**

<b>Años</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>Ingresos</b>		\$ 44.894.064	\$ 56.013.830	\$ 62.567.448	\$ 69.887.840	\$ 78.064.717
<b>Egresos</b>						
Talento Humano	\$ 76.800.000	\$ 26.808.000	\$ 33.448.047	\$ 37.361.468	\$ 41.732.760	\$ 46.615.493
Software	\$ 124.000	\$ 138.508	\$ 154.713	\$ 172.815	\$ 193.034	\$ 215.619
Equipo y papelería	\$ 2.120.000	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Gastos de transporte	\$ 1.980.000	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>Total, egresos</b>	\$ 81.024.000	\$ 26.946.508	\$ 33.602.760	\$ 37.534.283	\$ 41.925.794	\$ 46.831.112
<b>Flujo neto</b>	-\$ 81.024.000	\$ 17.947.556	\$ 22.411.070	\$ 25.033.165	\$ 27.962.045	\$ 31.233.605

*Nota: Elaboración propia*

## 8.3 Retorno de la inversión

El flujo de caja del proyecto se mira con la tasa de oportunidad del 11,7% efectiva anual de la empresa caso de estudio, en un horizonte de tiempo de 5 año, dando como resultado un Valor Presente Neto VPN de \$ 6.891.899 con signo positivo, con una Tasa Interna de Retorno TIR de 15%, con un retorno sobre la inversión ROI en el 3 año.

## 9 Conclusiones y recomendaciones

### 9.1 Conclusiones

Se pudo consolidar las características técnicas de la caldera pirotubular y las fases del sistema de generación de vapor junto con las variables del proceso, alcanzado el primer objetivo.

Se consolidan los costos del ciclo de vida CAPEX y OPEX de la caldera caso de estudio, junto con, la proyección de los costos mediante herramientas financieras empleando la tasa de oportunidad de la empresa, referente al segundo objetivo.

Se logro seleccionar la herramienta para analizar el costo de la vida del activo LCC, mediante el modelo de Costo Promedio Ponderado de Capital (WACC), que permite identificar el instante de tiempo donde se debe tomar la alternativa de cambio, basado en los ingresos e ingresos del proceso de generación de vapor. Dando cumplimiento al tercer objetivo.

Se identifica el punto de inflexión en el tiempo donde el mantenimiento y la operación OPEX de la caldera pirotubular, superan los ingresos que genera el activo proponiendo una posible reposición en el año identificado, llegando así, al desarrollo del cuarto y último objetivo.

Los resultados obtenidos en la implementación del modelo LCC con la herramienta financiera WACC en jerarquía de activos de la caldera pirotubular, mostro que bajo ciertas características como costo y el número de años de vida útil del activo se puede correr el modelo para la toma de decisiones en la reposición de equipos, dando principales restricciones activos

que son rotativos o que los costos de operación por su naturaleza superan el costo adquisición e instalación de manera prematura en su primer año.

## **9.2 Recomendaciones**

Se recomienda a la empresa caso de estudio realizar procedimiento para el análisis de los costos asociados al ciclo de vida del activo, con la finalidad de establecer los criterios de reposición del activo o conservarlo basados en datos financieros.

Al tener costos dinámicos en el tiempo, el modelo de costos debe ser actualizado cada año, con miras de establecer una línea base de los posibles escenarios de reposición en los activos, esto permitirá que el costo anual equivalente CAUE encargado de iterar en los años futuros tenga datos sólidos en función del OPEX vencido.

Para garantizar la fidelidad de la información se recomienda que todos los costos estén correctamente parametrizados en el ERP y CMM de la compañía, asociados a los activos representativos que se les va a establecer el análisis del costo del ciclo de vida.

Desde la adquisición de los activos se debe considerar a grupo de equipos se les va a hacer el análisis del ciclo de vida del activo, para garantizar todos los costos asociados a la adquisición e instalación CAPEX.

Por la robustez de los datos asociados al ciclo de vida del activo en su CAPEX y OPEX, se recomienda estructurar una arquitectura de datos mediante herramientas de Data Analytics,

Business Intelligence BI o Software de modelado de datos, para practicidad de la implementación y análisis en el modelo LCC.

## 10 Bibliografía

13306, U.-E. (2002, April). Terminología del mantenimiento. *AENOR*, 31.

<https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0026303>

Aciem. (2018). *Marco Normativo de Referencia para la Certificación de Gestores en Mantenimiento y Confiabilidad – ACIEM*. 1–14.

Barrera, C., Betoret, N., Castelló, M., & Pérez, É. (2018). Aspectos básicos relacionados con el funcionamiento de una caldera. *Repositorio de La Universidad Politécnica de Valencia, 1*.

[https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/104064/Barrera%3BBetoret%3BCastelló -](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/104064/Barrera%3BBetoret%3BCastelló-Aspectos%20básicos%20relacionados%20con%20el%20funcionamiento%20de%20una%20caldera.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Aspectos básicos relacionados con el funcionamiento de una caldera.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Basantes, S. (2007). *INTEGRACIÓN DEL MODELO DE ACTIVOS FIJOS DEL IGM A LA INFORMACIÓN TÉCNICA DE MANTENIMIENTO Y FINANCIERA*. INSTITUTO DE ALTOS ESTUDIOS NACIONALES.

Bruges, A., & Duarte, A. (2019). *Diseño de Políticas de Reemplazo y Mantenimiento de Aires Acondicionados de Expansión Directa Basadas en Programación Dinámica y Análisis de Ciclo de Vida de Activos* Ramiro Antonio Bruges Fawcet César Augusto Duarte Forero Tutor : Katherine Palacio Salgar. Universidad del Norte.

Castañeda, J. M. (2012). *Aproximación del impacto de las NIIF en mantenimiento industrial, medición y reconocimiento de activos tangibles*. Universidad EAFIT.

Castro, R. M. (1988). *Diseño de una caldera pirotubular vertical*. Universidad Autónoma de

Occidente.

Correa, I. (2006). *Metodología para calcular la frecuencia de reemplazo de las líneas de crudo y gas Off-Shore*. 1–6.

Duran, J., Sojo, L., & Fueamayor, E. (2019). Decisión de Reemplazo o Reparación de un Equipo. *Fundamento De Analisis De Reemplazo*, 16. <http://www.ipeman.com/articulos/tw/decision-reemplazo-reparacion-equipo.pdf>

Enrique, A. (2011). *Sistema de gestión del mantenimiento industrial*. UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS.

Fernández Álvarez, E. (2018). *Gestión de mantenimiento: Lean maintenance y TPM* [Universidad de Oviedo]. [http://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/10651/47868/1/Gestión de Mantenimiento. Lean Maintenance y TPM.pdf](http://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/10651/47868/1/Gestión%20de%20Mantenimiento.%20Lean%20Maintenance%20y%20TPM.pdf)

Fuente, A., Gonzalez, V., Gómez, J., Antonio, G., Sola, A., Crespo, A., & Parra, C. (2013). APROXIMACIÓN CUALITATIVA AL CONCEPTO DE VALOR DURANTE EL CICLO DE VIDA DE UN ACTIVO INDUSTRIAL [Universidad de Sevilla]. In *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952. (Vol. 1, Issue 1).  
[http://www.nutricion.org/publicaciones/pdf/prejuicios\\_y\\_verdades\\_sobre\\_grasas.pdf](http://www.nutricion.org/publicaciones/pdf/prejuicios_y_verdades_sobre_grasas.pdf)  
<https://www.colesterolfamiliar.org/formacion/guia.pdf>  
<https://www.colesterolfamiliar.org/wp-content/uploads/2015/05/guia.pdf>

García, J., Carcel Carrasco, J., & Mendoza Valencia, J. (2019). IMPORTANCIA DEL MANTENIMIENTO, APLICACIÓN A UNA INDUSTRIA TEXTIL Y SU EVOLUCIÓN EN EFICIENCIA [Instituto Politécnico Nacional]. In *3C Tecnologia* (Vol. 8, Issue 2).  
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.17993/3ctecno/2019.v8n2e30.50-67>

García, O. (2016). El Mantenimiento General. In *Oliverio, Palencia*. Universidad Pedagógica y

Tecnologica de Colombia.

García, S. (2003). *Organización y Gestión integral de Mantenimiento. 01*, 321.

Gobal, C. (2014). *Sistemas de Vapor*. Globalchame.

<https://www.globalchemwater.com/es/steam-systems/>

Guevara, A., & Orozco, M. (2015). *Análisis del Ciclo de Vida de la planta térmica didáctica de la Universidad ECCI en las etapas de operación y mantenimiento*. (Vol. 3) [ECCI].

<http://weekly.cnbnews.com/news/article.html?no=124000>

Guidi, C. (2017). *Gestión de Activos – PAS 55 / ISO 55000* (p. 40). Universidad esan.

<https://www.baenergysolutions.com/imgAdmin/GestiondeActivosV3.pdf>

Hernández Sampieri Roberto, M. T. C. (2018). *Metodología de la investigación - Las rutas cuantitativa*,. <https://www.ebooks7-24.com:443/?il=6443>.,

Hincapié, O., Alberto, C., Sánchez, C., & Carlos, J. (2008). *OPTIMIZACIÓN FINANCIERA DE SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO PARA CUARTOS LIMPIOS. 7*.

<https://doi.org/ISSN:0122-1701>

Lourival, T. (1999). *Administración Moderna de Mantenimiento. Novo Polo Publication-Brasil*, 119–132.

LUCY, C., APARICIO, R., & GALLO, M. (2011). EVALUACIÓN FINANCIERA DE LAS DOS ALTERNATIVAS QUE CONSISTEN EN: REPARACIÓN O ADQUISICIÓN DE UN EQUIPO NUEVO PARA LA PUESTA EN SERVICIO DE LA UNIDAD COMPRESORA No 1 DEL SISTEMA DE INYECCIÓN DE GAS LIFT DEL CAMPO RIO ZULIA. *Phys. Rev. E*, 1, 1–72.

<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/7130/1/LUZARDO-BUIATRIA-2017.pdf>

Mairena, O., & Rojas, D. (2014). *Evaluación del plan de mantenimiento industrial en el*

- beneficio de café seco*. UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA.
- Martínez, L., & Olaya, Y. (2019). Estimación de costos del ciclo de vida para la estabilización de vías terciarias en Colombia con subproductos industriales [Universidad de Antioquia]. In *Lecturas de Economía* (Issue 91). <https://doi.org/https://doi.org/10.17533/udea.le.n91a08>
- Miranda Valdovinos, R. N. (2018). Calderas: Clasificación, Usos Y Mecanismos De Transferencia De Calor. *Researchgate, Researchgate*, 11. [https://www.academia.edu/37204691/\\_CALDERAS\\_CLASIFICACIÓN\\_USOS\\_Y\\_MECA\\_NISMOS\\_DE\\_TRANSFERENCIA\\_DE\\_CALOR\\_](https://www.academia.edu/37204691/_CALDERAS_CLASIFICACIÓN_USOS_Y_MECA_NISMOS_DE_TRANSFERENCIA_DE_CALOR_)
- Muñoz, A. (2019). *IMPLEMENTACIÓN DE LA MATRIZ DE CRITICIDAD EN EL ÁREA DE EQUIPOS MÓVILES Y DE ELEVACIÓN EN LA EMPRESA FAISMON S.A.S. Y ANÁLISIS DEL COSTO DEL CICLO DE VIDA EN LAS GRÚAS TELESCÓPICAS* (Vol. 1). Universidad de Antioquia.
- Perez, A., & Carrasquilla, E. (2013). *Costeo del ciclo de vida de un activo: Proyecto unidad constructiva*. EAFIT.
- Perez, C., & Compañía y Soporte, E. (2015). Analisis del costo del ciclo de vida. *Soporte y Compañía, 01*, II. <https://doi.org/10.1016/b978-84-9022-648-3.50002-7>
- Pérez, P. (2020). *DESARROLLO Y APLICACIÓN DE UN MODELO DE COSTO DE CICLO DE VIDA PARA UN COMPRESOR INCORPORANDO ASPECTOS DE SALUD DE ACTIVOS*. Pontificia Universidad Catolica de Valparaiso.
- Reyes, J., & Jerez, M. (2020). *Análisis de Costo y Ciclo de Vida para la Reposición de un Motor de Gas Superior 16G825 y Compresor de Gas Worthington tipo OF6XH6 por un Motor a Gas Waukesha 7044 S5 – Compresor Superior MH64*. July. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.17402.72643>

- Rodriguez, P. (2007). HERRAMIENTA DE CONTROL DE PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE PROYECTOS [PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA]. In *Revista Brasileira de Ergonomia* (Vol. 9, Issue 2).  
<https://www.infodesign.org.br/infodesign/article/view/355><http://www.abergo.org.br/revista/index.php/ae/article/view/731><http://www.abergo.org.br/revista/index.php/ae/article/view/269><http://www.abergo.org.br/revista/index.php/ae/article/view/106>
- Sánchez, A. M. (2017). TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO. METODOLOGIA DE APLICACIÓN EN LAS ORGANIZACIONES. In *Development*. UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA.
- Santos, J., Rodríguez, E., & Contreras, L. (2015). *ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DEL SISTEMA MOTRIZ DEL VENTILADOR DE UNA CALDERA DE VAPOR* (Vol. 101). Universidad Simón Bolívar.
- Sanz, F. E. (2006). *Grado De Desarrollo Del Lcc En Un Sector Industrial*. UNIVERSIDAD EAFIT.
- Torres, F. (2013). *Cuantificación del efecto del período de diseño en el costo de ciclo de vida de pavimentos rígidos y flexibles, aplicado al caso bogotano*. Universidad de los Andes.
- Utne, I. B. (2009). Life cycle cost (LCC) as a tool for improving sustainability in the Norwegian fishing fleet. *Journal of Cleaner Production*, 17(3), 335–344.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.08.009>
- Valdivieso, J. (2010). *Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para la Empresa Extruplas S.A.* [Universidad Politecnica Salesiana].  
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/831/12/UPS-CT001680.pdf>
- Varela Geis, Á. (2018). Innovación y desarrollo tecnológico de los procesos y técnicas de

mantenimiento para las válvulas en buques de última generación. In *TDX (Tesis Doctorals en Xarxa)*. Universidad Politecnica de Catalunya.

Viveros Gunckel, P., Parra Marquez, C., Kristjanpoller Rodriguez, F., Gonzalez Diaz, V., & Crespo Marquez, A. (2020). Técnicas De Costes Del Ciclo De Vida Para La Toma De Decisiones En La Optimización Del Mantenimiento. Caso De Estudio: Industria Del Petróleo Y Gas. *Dyna Management*, 8(1), [20 p.]-[20 p.]. <https://doi.org/10.6036/mn9825>