

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

**DISEÑO DE UNA METODOLOGÍA DE MANTENIMIENTO BASADA EN CONFIABILIDAD (RCM) A UN TORNILLO TRANSPORTADOR DE LODOS (VLC) EN LA PLANTA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES SAN FERNANDO DE ITAGÜÍ**

Jhoan Sneider Flores Paniagua  
Wilton Bairo Ramírez Ospina

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de  
Especialista en Gestión del Mantenimiento:

Instituto Tecnológico Metropolitano - ITM  
Facultad de Ingenierías  
Departamento Mecatrónica y Electromecánica  
Medellín, Colombia  
2023

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

# RESUMEN

---

En este trabajo se presenta un diseño de una metodología de mantenimiento basada en confiabilidad (RCM *Reliability Centered Maintenance*) a un tornillo transportados de biosólidos en la planta de aguas residuales San Fernando del municipio de Itagüí, donde se pretende evaluar.

En este trabajo de grado o monografía, se quiere brindar un diseño o metodología en mantenimiento basado en RCM (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad) para un activo llamado VLC\_1, ubicado en la planta de tratamientos de aguas residuales san Fernando de la ciudad de Itagüí, ubicado en el área metropolitana.

El tornillo transportador vertical, realizamos un RCM, para optimizar su confiabilidad y confiabilidad, para realizar RCM, hicimos un AMFE, la taxonomía del activo es de anotar que el equipo tiene plan de mantenimiento y se cuenta con personal calificado para los diferentes tipos de mantenimiento, preventivos, correctivos, predictivos, etc.

Una de la forma de aportes al diseño de RCM, lo realizamos por medio de un análisis de Pareto que nos brinda una gran ayuda a visualizar o identificar cual es el 80% de componentes que están generando las diferentes fallas y poder atacar estos fallos de manera eficaz.

Se realiza un análisis de criticidad del activo donde identificamos las prioridades en las tareas de mantenimiento, determinando que consecuencias pueden ocurrir si hay una falla potencial, si no cumplimos con las tareas de mantenimiento que puede ocurrir, tratar de reducir la incertidumbre al mínimo posible.

El establecer un diseño de mantenimiento RCM, nos permite obtener una disponibilidad más alta, menores fallas del activo, crear cultura de un buen mantenimiento RCM, conocer el contexto operacional del activo, basado en las 7 preguntas del libreo de Jhon Moubray.

*Palabras clave:* RCM, Confiabilidad, biosólido, Criticidad,

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

## RECONOCIMIENTOS

---

A Dios gracias por nuestras vidas, por permitir que realicemos la especialización. También, Nos agradecemos mutuamente como compañeros en este proyecto, a todos los profesores de la especialización, en especial al profesor Carlos Alberto Acevedo, quien con su profesionalismo nos supo guiar durante este proceso y al profesor Juan Fredy porque nos enseñó como debe pensar un especialista en gestión del mantenimiento industrial.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

## ACRÓNIMOS

---

AMFE: análisis de modo de falla.

MTBF: Tiempo promedio entre fallas.

MTBR: tiempo medio entre reparaciones.

RCM: mantenimiento centrado en la confiabilidad

VLC\_1 Tornillo transportador vertical.

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

## TABLA DE CONTENIDO

---

1.	INTRODUCCIÓN .....	7
1.1	Planteamiento del problema. ....	7
1.2	Justificación e importancia .....	10
1.3	Objetivos .....	10
1.3.1	Objetivo general.....	10
1.3.2	Objetivos específicos.....	11
1.4	Organización de la monografía .....	11
2.	MARCO TEÓRICO.....	12
2.1	Tornillo sin fin de una planta de tratamiento de aguas residuales.....	12
2.2	Descripción de funcionamiento .....	12
2.3	Partes que conforman un tornillo sin fin VLC .....	13
2.4	Estado del arte .....	16
3.	METODOLOGÍA.....	19
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	20
4.1	Estado actual del mantenimiento del tornillo VLC_1.....	20
4.2	Confiabilidad Inherente.....	22
4.3	Mantenimiento basado en confiabilidad (RCM) .....	24
4.4	Contexto operativo .....	26
4.4.1	Taxonomía.....	27
4.5	Matriz de criticidad .....	29
4.6	Análisis de modos y efectos de fallas (AMFE).....	33
4.7	Estrategia.....	34
4.8	Análisis de costos .....	35

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL  TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

## INDICE DE IMAGENES

---

Imagen 1 Tren de tornillos .....	8
Imagen 2 Equipo VLC_1.....	9
Imagen 3 Sub equipo VLC_1.....	13
Imagen 4 Tornillo sin fin.....	14
Imagen 5 Placa motor .....	14
Imagen 6 Cubierta VLC_1.....	15
Imagen 7 Chumacera .....	16
Imagen 8 Línea del tiempo mantenimiento VLC_1.....	18
Imagen 9 Histórico de fallas .....	20
Imagen 10 Pareto (fallas Tiempo) .....	22
Imagen 11 Confiabilidad sistema serie tornillos .....	23
Imagen 12 mantenimiento centrado en confiabilidad .....	25
Imagen 13 pirámide taxonomía .....	27

## INDICE DE TABLAS

---

Tabla 1 Resultados análisis historial de fallas .....	21
Tabla 2 Tiempo y cantidad de fallas.....	22
Tabla 3 Pasos adicionales propuestos para la metodología de RCM.....	26
Tabla 4 Taxonomía ubicación VLC_1.....	28
Tabla 5 Funcione y fallas funcionales.....	29
Tabla 6 Tabla de ponderación .....	30
Tabla 7 Resultados de evaluación .....	30
Tabla 8 matriz de riesgo.....	32
Tabla 9 Nivel de riesgo .....	32
Tabla 10 Severidad.....	32
Tabla 11 Encabezado matriz AMFE .....	34
Tabla 12 Proyección para indicadores .....	35
Tabla 13 Valores deseados en Falla y tiempo fallas.....	35
Tabla 14 Costos asociados a las fallas .....	36
Tabla 15 relación costos mantenimiento.....	36

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Planteamiento del problema.

En las últimas décadas la contaminación de las fuentes hídricas ha aumentado considerablemente (Müller et al., 2020). El tratamiento de aguas residuales hace parte de la solución a esta problemática, (Burchi y Estefano, 2019). Consiste en procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin eliminar los contaminantes presentes en el agua. En el mundo va en aumento, ya que estudios de la fundación AQUAE, ha determinado que más del 80% de las aguas residuales vuelven a los ríos o ecosistemas trayendo consigo, una problemática muy grande en lo ambiental y lo social. Se dice también que en el mundo 1,800 millones de personas utilizan fuentes de agua ya contaminadas, teniendo en cuenta este factor más de 842000 personas mueren cada año en el mundo por causa de esta problemática. (Organización mundial de la salud, 2022)

Actualmente las grandes ciudades cuentan con plantas de tratamientos de aguas residuales (Xu et al., 2019), siendo esto una necesidad colectiva. Por tal razón, se debe tener una gestión integral de las aguas residuales, para evitar una crisis en la salud humana, desarrollo económico, empleabilidad, etc

En el área metropolitana de Valle de Aburrá, se cuenta con dos plantas de tratamientos de aguas residuales, las cuales son: San Fernando que se encuentra ubicada en el municipio de Itagüí la cual atiende toda la parte sur del área y la planta Aguas Claras ubicada en el municipio de Bello, con estas dos plantas, el área metropolitana tiene estimado tratar el 84% del agua residual producida por los municipios que lo integran. Con una meta más ambiciosa de tratar el 100% de las aguas residuales del río Medellín para el año 2030. (Mercado, 2020)

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

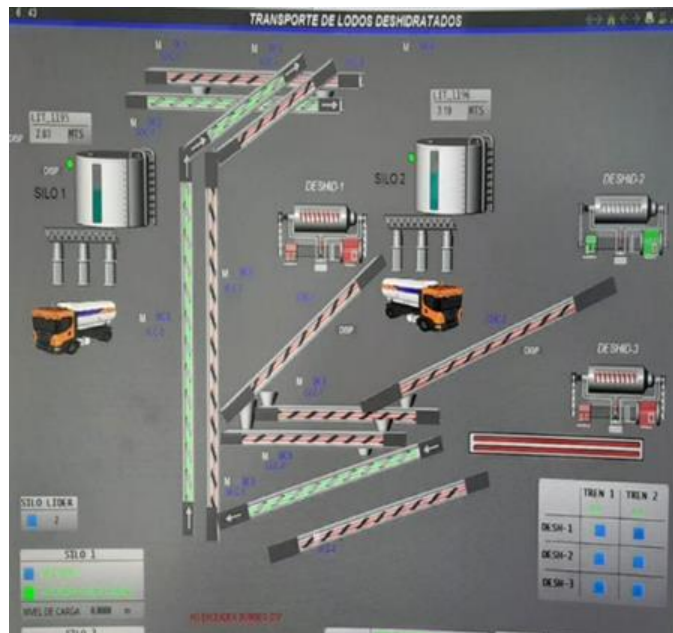


Imagen 1 Tren de tornillos

Fuente: Elaboración propia

La planta de tratamiento de aguas residuales San Fernando del municipio de Itagüí, es la encargada de recibir el agua proveniente de los colectores del sur del Valle de Aburra. En su función de tratar estas aguas residuales, realiza un proceso de eliminación de lodos. En el cual cuenta con dos activos o equipos llamados VERTICAL LIFT CONVEYOR, (VLC) los cuales pertenecen a dos trenes de tornillos en paralelo. Así como se ve en la imagen 1 los cuales son; tren norte y tren sur, sirven como respaldo uno del otro por si ocurre alguna novedad, cada tren cuenta con 6 tornillos, pero de estos activos (VLC1 - VCL2). El (VCL 1) es el más crítico de todos los tornillos debido a la ubicación y función en el proceso.





*Imagen 2 Equipo VLC\_1*

Fuente: elaboración propia

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

El VLC\_1 es un equipo con una longitud de 10 m y un peso aproximado de 1 ton con el agravante de tener varias modificaciones en 20 años de uso. Además, está presentando fallas muy continuas, desde la en el periodo comprendido entre junio de 2022 y junio 2023 a presentado 4 fallas representativas, otro aspecto importante es que el equipo produce vibraciones y esto puede estar asociado a las fallas en rodamientos de la chumacera, se puede evidenciar que se está presentado (García et al., 2013) en consecuencia se están generando sobrecostos en repuestos de mantenimiento e interrupción premeditada del proceso, aunque se cuenta con un respaldo del otro tren de tornillos, es tanta la criticidad, que muchas veces los dos salen de servicio al mismo tiempo, produciendo tiempos muertos, parada de planta, altos costos de mantenimiento, pagos extra temporáneos al personal de mantenimiento, entre otros aspectos de mantenimiento.

De acá surge la pregunta ¿qué tipo de mantenimiento se debe realizar al activo, para garantizar la confiabilidad y disponibilidad?

Por esta razón se realizará un diseño de una metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad RCM al tornillo transportador de lodos VLC 1.

## 1.2 Justificación e importancia

La planta de tratamiento de aguas residuales ha experimentado un aumento en la demanda o ingreso de agua residual, esto se debe al crecimiento poblacional que está presentando el área metropolitana, esto obliga a que los activos se encuentren disponibles todo el tiempo, ya que la planta opera 24/7 y los 365 días del año.

El activo (VLC 1) transportador vertical es fundamental para cubrir esta tarea, Éste funciona con un tren de tornillos en serie, para transportar el lodo de un lado al silo de almacenamiento y posteriormente es cargado en volquetas para darle disposición final.

Por la criticidad del VLC 1 es necesario realizar RCM, donde pretende mejorar la confiabilidad, reducir las fallas, reducir tiempos de paradas, etc. La metodología RCM será de gran ayuda para lograr el objetivo deseado.

## 1.3 Objetivos

### 1.3.1 Objetivo general

Realizar un diseño de una metodología de mantenimiento basada en confiabilidad (RCM) a un tornillo transportados de biosólidos en la planta de aguas residuales San Fernando del municipio de Itagüí, para mejorarla confiabilidad.

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

### 1.3.2 Objetivos específicos

- Analizar las causas de las fallas más repetitivas y representativas del sub-equipo VLC 1.
- Elaborar propuesta de mejora al plan de mantenimiento actual, basado en el modelo RCM para el equipo VLC 1.

### 1.4 Organización de la monografía

La monografía está distribuida en cinco capítulos que a continuación serán mencionados.

- **Introducción:** En este capítulo está expuesto el planteamiento del problema, la justificación, los objetivos generales y específicos, haciendo una descripción del problema con el cual se va a realizar esta monografía.

- **Marco teórico:** En este capítulo se hace la descripción de que es el VLC\_1, su funcionamiento, y de todas las partes que lo componen, además se puede encontrar el estado del arte, en donde se hace una reseña sobre cómo se ha realizado el mantenimiento al VLC\_1 durante los últimos 20 años, y las diferentes formas de hacer mantenimiento durante este tiempo

- **Metodología:** En este capítulo se muestra el desarrollo de la monografía explicando todos los pasos que se deben seguir para realizar un RCM, Desde que se recopila la información, cuáles son las fuentes, también se revisa como se está realizando actualmente el mantenimiento del equipo VLC\_1

- **Resultados:** en este capítulo se puede encontrar con todo el desarrollo de cómo se basó la monografía en la metodología RCM II, Se muestra cómo se realizan los pasos para un RCM para el tornillo transportador de lodos (VLC), es uno de los pasos más importantes de esta monografía para la consecución de los objetivos trazados.

- **Conclusiones, recomendaciones y trabajo futuro:** Finalmente en este capítulo se condensa el trabajo realizado para el tornillo (VLC), donde se podrá visualizar los resultados de la matriz AMFE la matriz de criticidad, los costos por mantenimiento y las mejoras que se pueden realizar con la implementación de la metodología RCM, en el mantenimiento actual que posee el tornillo.

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Tornillo sin fin de una planta de tratamiento de aguas residuales

Una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales PTAR. Tiene como función principal tratar las aguas residuales que provienen de hogares, industrias y otros lugares antes de verterlas nuevamente en el medio ambiente o devolverlas a fuentes de agua natural. El objetivo de una PTAR es eliminar contaminantes y sustancias no deseadas presentes en las aguas residuales para evitar la contaminación de los ecosistemas y proteger la salud pública.

El proceso de tratamiento en una PTAR generalmente implica varias etapas, que pueden incluir la eliminación de sólidos suspendidos, la descomposición de materia orgánica, la eliminación de nutrientes como nitrógeno y fósforo, y la desinfección para eliminar patógenos antes de liberar el agua tratada. El resultado final es un efluente más limpio y seguro que puede ser devuelto a ríos, lagos o cuerpos de agua, o en algunos casos, reutilizado para riego agrícola u otros fines industriales. (I.K. Kalavrouziotis, 2023)

Las PTAR son esenciales para proteger el medio ambiente y la salud pública al reducir la contaminación del agua y garantizar que las aguas residuales tratadas cumplan con estándares ambientales y de calidad del agua antes de ser liberadas en el entorno natural.

El tornillo sin fin transportador VCL 1, es un sub-equipos utilizado para el transporte de lodos obtenidos del proceso de tratamiento de aguas residuales el cual recibe de otro tornillo horizontal y lo transporta a una altura de 10m y son almacenados en un silo de gran capacidad.

### 2.2 Descripción de funcionamiento

El tornillo transportador de lodos (VLC) funciona de dos formas modo local y remoto es para operar el equipo o en modo DCS donde encontramos una opción que es remoto o automático y manual del DCS, el tornillo funciona como una línea de producción con una secuencia de tornillos, donde los llamamos tren de tornillos, asignados con el siguiente TAG (CDC; CCC; VFC; VLC; VDC; SDC) la función de estos tornillos es transportar biosólido y alimentar un silo o tanque de almacenamiento, donde por medio de unas compuertas neumáticas cargan las diferentes volquetas y demás vehículos para transportarlos a los diferentes sitios de disposición.

Todo este tren funciona con una alimentación de una deshidratadora decantador ALDEC G3 “La fracción líquida de los lodos procedentes del tratamiento de aguas residuales municipales e industriales y de residuos de otras operaciones repercute en los costes de vertido y tratamiento del

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

fango. Alfa Laval ofrece equipos que cubren todo el proceso de tratamiento de lodos: el espesamiento, deshidratación, calentamiento, refrigeración, recuperación de calor, digestión y pasteurización, así como sistemas de control avanzado para optimizar el funcionamiento de la planta y la mano de obra” debemos de poner la referencia alfa laval.



*Imagen 3 Sub equipo VLC\_1*

Fuente: (Gilliland, 2018)

Este activo le ingresan 10 litros/segundo, de lodo digerido, pero en su proceso interno que consiste en separar el agua de lo sólido, nos esta entrega aproximadamente 0.006 metros cúbicos de biosólido, pero esta entrega depende de cómo llega el lodo, si llega muy espeso o por lo contrario llega con mucha agua y poco lodo.

### **2.3 Partes que conforman un tornillo sin fin VLC**

**Eje:** El eje es la parte central del tornillo sin fin vertical y proporciona la base para todo el mecanismo. Gira sobre su eje vertical para transmitir el movimiento.

**Tornillo sin fin:** El tornillo sin fin es una rosca helicoidal que se encuentra en el eje. Es la parte que entra en contacto con el engranaje o la rueda dentada y crea el movimiento de rotación cuando gira.

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

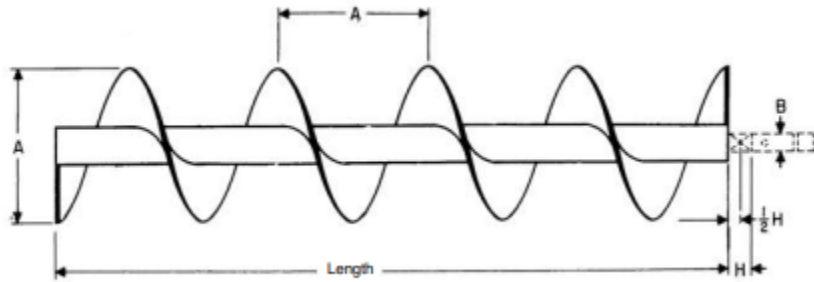


Imagen 4 Tornillo sin fin

Fuente. (Gilliland, 2018)

**Engranaje o rueda dentada:** En la parte superior del tornillo sin fin vertical, generalmente se encuentra un engranaje o una rueda dentada con dientes que interactúan con el tornillo sin fin. Cuando el tornillo sin fin gira, hace que el engranaje o la rueda dentada también gire.

**Motor o fuente de energía:** El motor o la fuente de energía es lo que proporciona la potencia necesaria para hacer girar el tornillo sin fin. Puede ser un motor eléctrico, un motor hidráulico, un motor neumático u otra forma de energía.



Imagen 5 Placa motor

Fuente: elaboración propia

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

**Soporte o cubierta** Para mantener todas las partes en su lugar y proteger el mecanismo, generalmente se utiliza una carcasa o un soporte. Esto evita que el tornillo sin fin y el engranaje estén expuestos al entorno exterior.



*Imagen 6 Cubierta VLC\_1*

Fuente: Elaboración propia

**Mecanismo de control:** Dependiendo de la aplicación, puede haber un mecanismo de control asociado que regula la velocidad y la dirección de giro del tornillo sin fin vertical. Esto puede incluir interruptores, controladores, frenos u otros componentes de control.

**Chumacera** "chumacera" es un término utilizado en ingeniería mecánica y construcción para referirse a un tipo de soporte o cojinete que se utiliza para sostener y alinear un eje giratorio, como el de una máquina o un equipo industrial. También se conoce como "rodamiento de apoyo" o "soporte de cojinete".



	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020



*Imagen 7 Chumacera*

Fuente: Elaboración propia

## 2.4 Estado del arte

En diciembre de 2001 se da la apertura de la planta de tratamientos de agua residuales san Fernando, ubicada en el sur del área metropolitana (Itagüí) es la primera planta de su clase en todo Colombia y sirvió como inspiración o modelo a otras ciudades o países, esta planta fue un gran hito en su construcción, se tomó como modelo una planta ubicada en los estados unidos de norte América, en la construcción se gastaron más de 250 millones de dólares, la puesta a punto se realizó con agua lluvia para realizar ensayos y observar de qué manera se comporta con el encendido de los equipos.

En el año 2002 cuando la constructora entrega el proyecto, no se contaban con planes de mantenimiento, ni personal calificado para dicha tarea, solo se contaba con personal tercerizado o por Outsourcing, el mantenimiento realizado al tornillo VLC\_1 Se basaba en indicaciones del proveedor o manuales de los activos adquiridos por la compañía, el mantenimiento consistía en reparar averías, reparar defectos del activo, El grupo de mantenimiento afrontaba el problema de intervenir los equipos sin el suficiente conocimiento y entrenamiento, en otras palabras solo se dedican a realizar mantenimientos correctivos, sin planificación, sin documentar las posibles averías o fallos, solo arreglar o solucionar el problema.



	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

En el año 2005, cuando se tenía un mayor conocimientos de los activos existen y su funcionamiento y conociendo el contexto operacional del activo, se inicia con capacitaciones a personal encargado de mantener el activo, Se crea un grupo de trabajo propio, donde se apersonado al grupo de las actividades diarias, se implementa la rutina de lubricación, se inicia con la ejecución del mantenimiento muchos más avanzado, se adquieren las herramientas necesaria para intervenir el activo y algunos repuestos necesarios. Aun así, faltaba demasiado trabajo para consolidar un equipo eficaz y eficiente.

En el año 2012, cuando se tenía un grupo de trabajo bastante robusto y con experiencias, se inicia con la recopilación datos de funcionamiento y modos de fallas más comunes del activo VLC\_1, repuestos con más rotación, costos de mantenimiento, Se resalta que los datos las ordenes de trabajo Realizadas al VLC\_1 se llenaban a mano, de lo anterior se obtiene: la incorporación de los los instructivos, experiencias de los técnicos, Comunicación asertiva y gestión del conocimiento, etc. En este mismo año se implementa el mantenimiento por frecuencia, con personal más calificado y proactivo y se implementa un primer plan de mantenimiento, donde para las tareas diarias ya tenían roles definido y que se debía realizar para mantener la planta, esto se realizaba con un mantenimiento por frecuencia, Pero se pudieron evidenciar algunos problemas bastantes graves, la cantidad de horas por hombre mal utilizadas, los repuestos, consumibles, con el mantenimiento basado en frecuencias, se dedujo que la mayoría de equipos tienen redundancia o respaldo, esto conllevaba a que un activó este en uso o no, le salían órdenes de trabajo, como por ejemplo lubricación, cambio de rodamientos, etc. Y en realidad no necesitaba de este tipo de mantenimiento ya que el activo pasó la mayor parte del tiempo sin funcionar o muy pocas horas de trabajo.

Esto conlleva a que en el año 2018, se realiza una inversión bastante eficaz para el departamento de mantenimiento que fue acoplar los horómetros al activo y fue así como se pasa de un mantenimiento por frecuencia y basado en condición a un mantenimiento basado en horas, Lo que mejoró en gran parte el manejo de las actividades de mantenimiento ya que los equipos de respaldo solo se realizaba inspección y lubricación básica y teníamos un mayor control de los activos, data, y por medio de métodos estadísticos realizar probabilidades de fallas por funcionamiento o tiempo de falla.

En este mismo año se implementa dos softwares de mantenimiento como los son JD EDWARDS Y MÁXIMO, con esto se logra integrar el sistema SCADA, DCS con máximo y tener un mayor control del mantenimiento en la planta, una mejor planificación, mejorar la productividad del equipo de trabajo, administrar las órdenes de trabajo de una manera mucho más eficientes y en tiempo real, un mejor seguimiento a los activos e históricos que le pueden ser de mucha ayuda al personal encargado de mantenimiento.

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020



Imagen 8 Línea del tiempo mantenimiento VLC\_1

Fuente: Elaboración propia

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

### 3. METODOLOGÍA

La presente investigación se realizó basada en la metodología inductivo-deductivo, este método consiste en inferencia se basa en la lógica y estudia hechos particulares, aunque es deductivo en un sentido (parte de lo general a lo particular) e inductivo en sentido contrario (va de lo particular a lo general) (Bernal, 2010, pág. 322).

El equipo que fue analizado en este estudio es el tornillo vertical transportador de biosólido de la planta de tratamiento de aguas residuales San Fernando. Para el desarrollo de la metodología se planteó una propuesta basada en RCM donde se buscó dar respuesta a las 6 preguntas.

Antes de iniciar con el RCM fue necesario hacer una recopilación y análisis de la información correspondiente al activo, se estableció la taxonomía y análisis su contexto operacional. La norma SAE JA1011, de AGO 2009, establece que para que un proceso sea reconocido como RCM debe seguir los siete pasos en el orden que se muestra a continuación:

Con la información obtenida del historial de fallas se realizó el análisis para encontrar indicadores como MTTR, MTBF y confiabilidad inherente. Se calculó la disponibilidad de VLC\_1 y se simuló para el sistema de tornillos transportadores en serie la Criticidad suponiendo el mejor escenario para los otros sub equipos del tren de tornillos.

Se Realizó un modo y efectos y fallas (AMFE) para verificar y aumentar la fiabilidad, disponibilidad del activo, se trata de anticipar a los acontecimientos e identificar lo antes posible las consecuencias que pueden traer los fallos funcionales del activo, con este análisis fue posible proponer una mejora a los planes de mantenimiento y rebajar al mínimo la incertidumbre, las consecuencias de los fallos del activo

Se hizo un análisis de criticidad para verificar e identificar la prioridad en las tareas de mantenimiento, con los niveles de riesgo de la matriz de criticidad se puede jerarquizar las actividades más complejas para el proceso, hasta las actividades de menor complejidad y que no afecten el proceso productivo, observar las consecuencias que se pueden generar en caso de que no se realicen los mantenimientos pertinentes a el activo.

Con lo expuesto anteriormente se quiere presentar una propuesta de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) e integrarlo con la matriz de criticidad, para la mejora del mantenimiento para dicho activo, disminuir los daños al activo por medio de un análisis profundo de los modos y efectos de fallas.

Resultado del análisis se propuso una metodología para mejorar la criticidad, donde se propuso trabajar en Dos fallas principales que son las más influyentes negativamente en el estado actual de la criticidad.

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

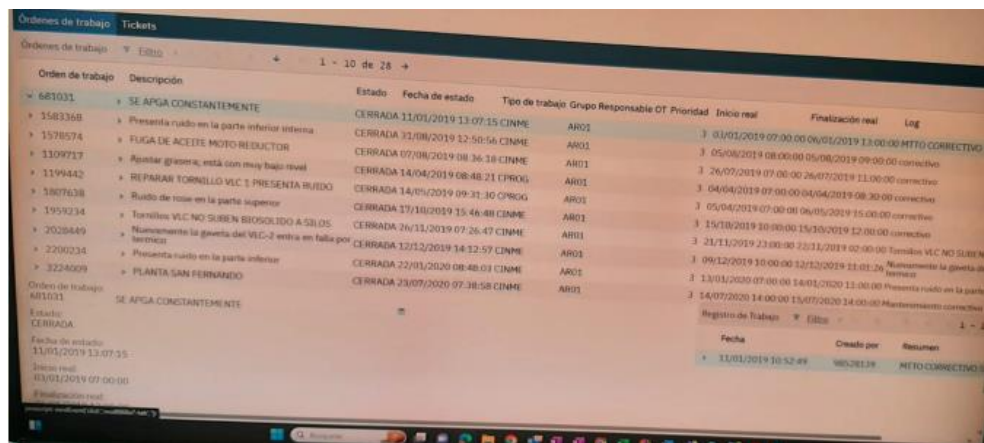
### 4.1 Estado actual del mantenimiento del tornillo VLC\_1

Es necesario acudir a diferentes fuentes que permitan obtener datos confiables. entre las cuales se tienen:

**Resultado de Observación directa:** Se observa el equipo o máquina en funcionamiento para obtener información sobre su comportamiento, rendimiento y cualquier posible problema. Presta atención a los indicadores visuales, sonidos, olores y cualquier otro aspecto relevante. La observación directa puede brindar valiosas perspectivas sobre el estado y el rendimiento del equipo. La observación del equipo se realiza mediante el ingeniero Jhoan Schneider Flores quien trabaja como técnico de mantenimiento en la planta.

**Entrevistas con operadores o técnicos:** Hablar con las personas que trabajan directamente con el equipo, como operadores o técnicos de mantenimiento. Ellos pueden proporcionar información práctica sobre la operación diaria, problemas comunes, soluciones temporales y otros detalles que pueden ayudar a comprender mejor el equipo. (Bernal, 2010, pág. 322)

**Análisis de registros de mantenimiento:** Aquí se puede identificar patrones de fallas, intervenciones de reparación anteriores y cronogramas de mantenimiento recomendados. La información fue adquirida de los registros de mantenimientos realizados (Imagen 9)



Orden de trabajo	Descripción	Estado	Fecha de estado	Tipo de trabajo	Grupo	Responsable OT	Prioridad	Inicio real	Finalización real	Log
687031	SE APGA CONSTANTEMENTE	CERRADA	11/01/2019 13:07:15	CINME	ARO2					
3583368	Presenta ruido en la parte inferior interna	CERRADA	11/08/2019 12:50:56	CINME	ARO1		3	01/01/2019 07:00:00	06/01/2019 13:00:00	MFTO CORRECTIVO SE
1578574	FUGA DE ACEITE MOTO REDUCTOR	CERRADA	07/08/2019 08:36:18	CINME	ARO1		3	05/08/2019 08:00:00	05/08/2019 09:00:00	correctivo
1109717	Ajustar @grasa, está con muy bajo nivel	CERRADA	14/04/2019 08:48:21	PROG	ARO1		3	26/07/2019 07:00:00	26/07/2019 11:00:00	correctivo
1194442	REPARAR TORNILLO VLC 1 PRESENTA RUIDO	CERRADA	14/04/2019 09:31:30	PROG	ARO1		3	04/04/2019 07:00:00	04/04/2019 08:30:00	correctivo
1807638	Ruido de roce en la parte superior	CERRADA	17/10/2019 15:46:48	CINME	ARO1		3	05/04/2019 07:00:00	06/05/2019 15:00:00	correctivo
1959234	Tornillos VLC NO SUBEN BIEN SOLIDO A SILOS	CERRADA	24/11/2019 07:26:47	CINME	ARO1		3	15/10/2019 10:00:00	15/10/2019 12:00:00	correctivo
2028449	Mantenimiento la gaceta del VLC-2 entra en falla por servicio	CERRADA	12/12/2019 14:12:57	CINME	ARO1		3	21/11/2019 23:00:00	22/11/2019 02:00:00	Tornillos VLC NO SUBEN BI
2200234	Presenta ruido en la parte inferior	CERRADA	22/01/2020 08:48:03	CINME	ARO1		3	09/12/2019 10:00:00	12/12/2019 11:01:26	Mantenimiento la gaceta del 3
3224009	PLANTA SAN FERNANDO	CERRADA	23/07/2020 07:38:58	CINME	ARO1		3	13/01/2020 07:00:00	14/01/2020 11:00:00	Presenta ruido en la parte in
Orden de trabajo 681031	SE APGA CONSTANTEMENTE							14/07/2020 14:00:00	15/07/2020 14:00:00	Mantenimiento correctivo

Imagen 9 Histórico de fallas

Después de obtenida la información Anexo 1, se procede a determinar los indicadores MTTR, MTBF y Confiabilidad inherente. (Ver tabla 1)

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

<b>Total, fallas</b>	<b>60</b>
<b>Tiempo total 01/01/22 -28/05/23 días</b>	<b>573</b>
<b>Tiempo de reparación horas</b>	<b>732</b>
<b>Tiempo Total horas</b>	<b>13752</b>
<b>TO tiempo de operación horas</b>	<b>13020</b>

*Tabla 1 Resultados análisis historial de fallas*

El análisis de historial de falla se realiza tomando las fechas entre 01/01/2022 hasta 28/08/2023 para un total de 573 días (13752 horas). Teniendo la información de la Tabla 1 se calcula el MTTR (ecuación 1) y el MTBF (ecuación 2)

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo de reparación}}{\text{Número de fallas}} \quad \text{Ecuación 1}$$

$$MTTR = \frac{720}{60}$$

$$MTTR = 12.2 \text{ horas}$$

$$MTTBF = \frac{\text{Tiempo de operación}}{\text{Número de fallas}} \quad \text{Ecuación 2}$$

$$MTTBF = \frac{13020}{60}$$

$$MTTBF = 217 \text{ horas}$$

De esta forma con los valores obtenidos de la tabla 1 se tiene: que el valor para el **MTTR** de 12.3 horas (Ecuación 1) y un **MTBF** de 217.17 horas (Ecuación 2)

%FALLAS	CANTIDAD		DESCRIPCION FALLAS	TIEMPO(h)	% TIEMPO
	FALLAS				
21,67	13		Presenta fuga de biosólidos	379	51,8
6,67	4		Alta vibración	128	17,5
8,33	5		Ruido parte superior	69	9,4
13,33	8		Presenta problemas al arrancar	33	4,5
5,00	3		Perdida lubricación	25	3,4
8,33	5		Se apaga constantemente	25	3,4
8,33	3		Fuga de aceite motorreductor	22	3,0
10,00	6		Se dispara continuamente	19	2,6

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>		Código	FDE 089
			Versión	04
			Fecha	24-02-2020

10,00	8	Paros menores	16	2,2
5,00	3	Bajo nivel de grasa	13	1,8
3,33	2	Ruido en motor	3	0,4
100,00	60		732	100%

Tabla 2 Tiempo y cantidad de fallas

Fuente: Elaboración propia

De los valores obtenidos se puede evidenciar que el MTTR es muy alto, revisando los valores este fenómeno es provocado por dos fallas en especial (Tabla 2) donde las fallas (Presenta fuga de biosólidos y Alta vibración) presentan tiempos muy altos.

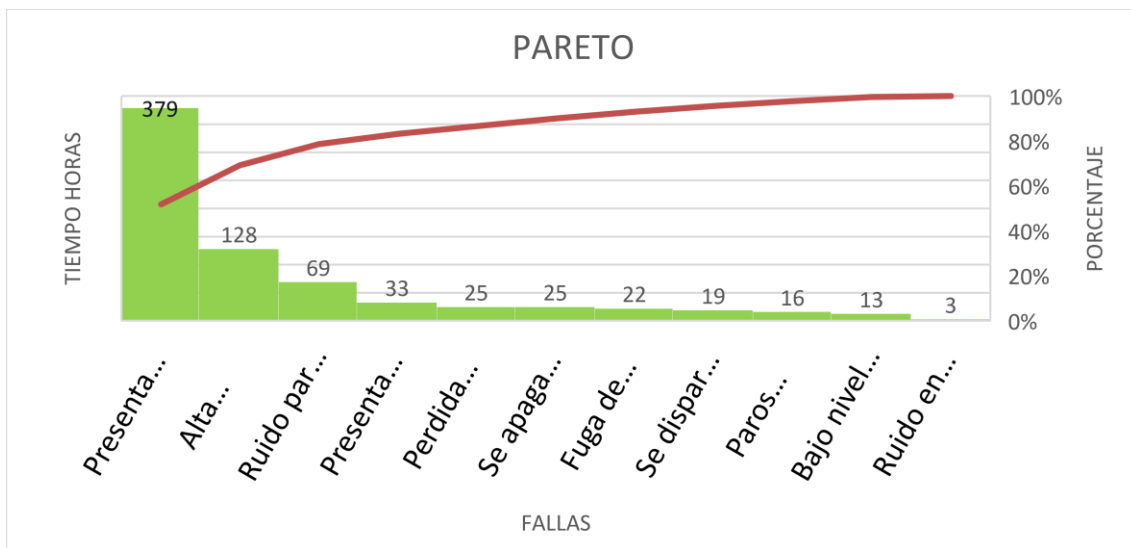


Imagen 10 Pareto (fallas Tiempo)

Fuente: Elaboración propia

## 4.2 Confiabilidad Inherente

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Para tener claro qué es confiabilidad, se puede definir de la siguiente manera: Es la probabilidad de que un sistema, activo o componente lleve a cabo su función adecuadamente durante un período bajo condiciones operacionales previamente definidas y constantes (Fuenmayor, 2020)

Como se deduce de esta definición, la confiabilidad es un dato estadístico, pues es una probabilidad la cual es determinada o calculada a partir de la información de los registros de los paros. Como veremos más adelante, el cálculo de la confiabilidad — según el método que expongo — se basa en la definición clásica de Laplace de probabilidad.

De esta forma con los valores obtenidos de El ETTR y MTBF, Se calcula la Confiabilidad para el equipo VLC\_1 (la ecuación 3)

$$\text{Confiabilidad} = (\%R) = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR} \quad \text{Ecuación 3}$$

$$(\%R) = \frac{217}{217 + 12,2}$$

$$(\%R) = 94.68 \%$$

Luego de obtener el valor de la confiabilidad para el VLC-1, y analizando el sistema de tonillos transportadores se realiza una simulación de la confiabilidad del sistema de tornillos en serie (figura 11) y poniendo en el mejor escenario a los otros tornillos del sistema con (0.99) se obtiene una confiabilidad para el sistema del tren lineal de tornillos transportadores de lodos (Ecuación 4) la propuesta de mejorar este valor a un 97%.

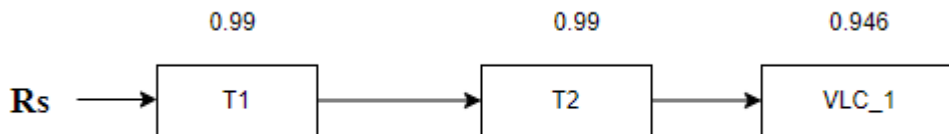


Imagen 11 Confiabilidad sistema serie tornillos

Fuente: Elaboración propia

$$R_S = Cf_1 * Cf_2 * Cf_3 \dots \dots Cf_n$$

Ecuación 4

$$R_S = 0.99 * 0.99 * 0.946$$

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

$$R_S = 0.935$$

Ahora la confiabilidad del sistema de tornillos en serie es  $R_S = 0.935$  con el objetivo de mejorar la confiabilidad del VCL\_1 de **0.946 a 0.96** también se proyectaría que la Confiabilidad del sistema quede en  $R_S = 0.959$

$$R_S = 0.99 * 0.99 * 0.96$$

*Ecuación 5*

$$R_S = 0.959$$

### 4.3 Mantenimiento basado en confiabilidad (RCM)

El mantenimiento centrado en confiabilidad (*Reliability Centred Maintenance-RCM*) por sus siglas en inglés) es una metodología altamente reconocida y de uso extendido para elaborar planes de mantenimiento que incluyan todo tipo de estrategias de mantenimiento tales como preventivo, predictivo, búsqueda de fallas, entre otras (Gallarà y Pontelli, 2020). Esta metodología fue desarrollada inicialmente por la industria comercial de aviación de los Estados Unidos para mejorar la seguridad y confiabilidad en 1978 y desde entonces ha sido ampliamente utilizada en la industria (Moubray, 2004).

#### LAS SIETE PREGUNTAS BÁSICAS

- 1- ¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional?
- 2- ¿de qué manera falla en satisfacer dichas funciones?
- 3- ¿Cuál es la causa de falla funcional?
- 4- ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?
- 5- ¿en qué sentido es importante cada falla?
- 6- ¿qué puede hacerse para prevenir o predecir cada falla?
- 7- ¿qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?



	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020



Imagen 12 Mantenimiento centrado en confiabilidad

Fuente: Aula 21

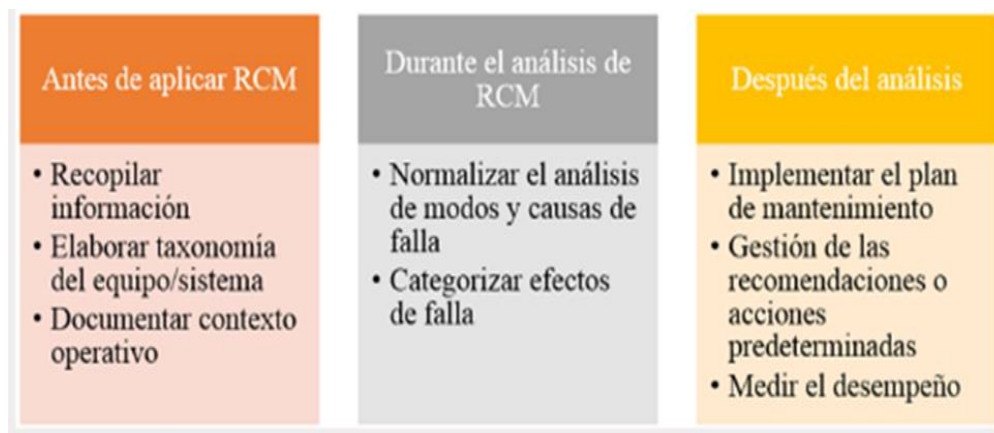
El objetivo de la metodología RCM, es identificar posibles causas de los fallos funcionales de los activos, es una metodología muy eficaz, cuando se aplica correctamente, puede llegar a unas mejoras muy significativas, optimizar los costos de mantenimiento, realizar un programa de mantenimiento acorde a lo establecido.

Antes de aplicar el RCM, podemos ver las indicaciones de la imagen donde nos indica, que el primer paso es tener una información clara del activo, con personal calificado, tener históricos de falla si no tenemos históricos de falla no debemos aplicar RCM, debemos centrarnos en otra metodología, levantar el contexto operacional del activo con todas sus aristas, la taxonomía del activo nos permite conocer sus componentes y como están discriminados.

Durante la realización del RCM, debemos realizar modo y efecto de fallas y matriz decisión para evidenciar que puede ocurrir y un componente falla, que puede ocasionar, tanto en producción, ambiental, costos, etc.

Después de realizar este paso debemos implementar plan de mantenimiento que mejor se acoja a nuestras necesidades, implementar KPI que nos permitan realizar seguimientos a las tareas de mantenimiento, generar valor desde el mantenimiento, así la compañía, realizar seguimiento al nuevo cronograma descrito, después de realizar los pasos de RCM, lo más importante es mejorar la confiabilidad del activo y que es mejorar la confiabilidad es que el activo falle lo menos posible.

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020



*Tabla 3 Pasos adicionales propuestos para la metodología de RCM.*

Fuente (Campos et al., 2019)

#### 4.4 Contexto operativo

La planta San Fernando fue construida en el año 1999 con el fin de tratar las aguas residuales del río Medellín, y remover la carga orgánica que contienen las aguas residuales del Río Medellín. De acuerdo con los requerimientos del Área Metropolitana la remoción de DBO (Demanda Biológica de Oxígeno) debe ser como mínimo del 80% del caudal tratado.

En el municipio de Itagüí, estas máquinas se encuentran en operación desde el inicio de la Planta San Fernando en 1999.

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales San Fernando es una planta de tratamiento secundario. Las basuras y las partículas de arena son removidas en el Edificio de Tratamiento Preliminar.

En este edificio se han dispuesto también grandes bombas de aguas residuales para elevar el flujo a un nivel tal que el agua pueda fluir por gravedad a través de los procesos restantes. Seguidamente, el agua residual pasa a través de tanques clarificadores llamados Tanques de Sedimentación Primaria donde se remueve la mayor parte de los sólidos. El paso siguiente del tratamiento, es en las instalaciones de tratamiento por lodos activados, donde una parte del agua residual se trata biológicamente. En el Edificio de Sopladores se localizaron grandes sopladores que suministran aire a los tanques de aireación que forman parte del sistema de lodos activados. Los sólidos que se producen en el sistema son recolectados por asentamiento en los Tanques de Sedimentación Final. La porción de agua residual tratada biológicamente (1200 l/s) y el resto del agua residual de los tanques de sedimentación primaria (600 l/s) son mezcladas antes de descargar al río Medellín.

Los lodos removidos en el proceso de lodos activados son espesados por centrífugas en el Edificio de Espesamiento y Deshidratación de Lodos y mezclados con los lodos de los Tanques de

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Sedimentación Primaria. Esta mezcla es bombeada a los tanques en forma de huevo para su digestión anaeróbica. El proceso biológico anaeróbico reduce la cantidad de sólidos y produce gas de lodos (metano) el cual es usado para generar energía en el Edificio de Recuperación de Energía donde se produce parte de la energía eléctrica requerida por la Planta. Los lodos digeridos son deshidratados por centrífugas en el Edificio de Espesamiento y Deshidratación de Lodos y transportados para disposición final.

Este transporte es realizado por medio de dos trenes de tornillos en paralelo. Así como se ve en la imagen 1 cada tren cuenta con 6 tornillos, pero de estos activos (VLC1 - VLC2). El VLC\_1 es un equipo con una longitud de 10 m y un peso aproximado de 1 ton vertical es fundamental para cubrir esta tarea.

#### 4.4.1 Taxonomía

Para Definir el contexto operacional del equipo transportador de lodos VLC\_1 es necesario también realizar la taxonomía (Imagen 13) a continuación se explica que es la taxonomía y ubicar el sub-equipos dentro de la pirámide.

La norma ISO 14224 [14] define la taxonomía como la clasificación sistemática de equipos o sistemas en grupos genéricos basada en sus características comunes (localización, uso, tipo de equipo, etc.), la taxonomía es representada en forma de pirámide como se observa en la Imagen 11. y representa la ubicación del equipo o activo dentro de la organización. en este caso, se encuentra resaltado en color naranja la ubicación del sub-equipos VLC dentro de la pirámide.

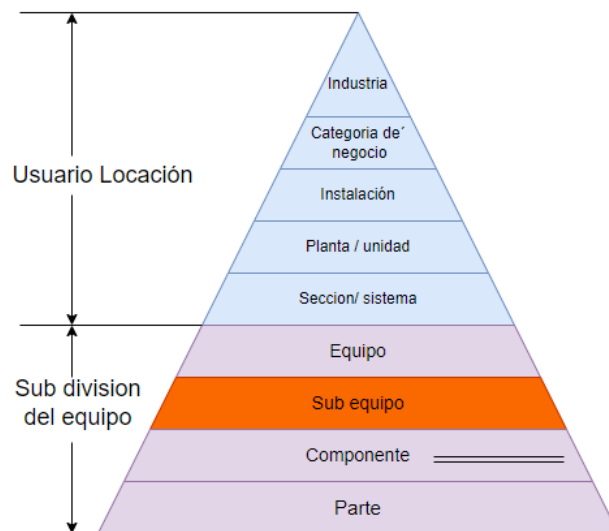


Imagen 13 pirámide taxonomía

Fuente Elaboración propia

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

En la tabla 4 se muestra la ubicación del VLC\_1. Además, se ve la distribución de cada uno del componente y las diferentes partes asociadas.

Instalación	Sección sistema	Equipo	Sub equipo	Componente	parte
PTAR SAN-FDO	EQUIPOS DESHIDRATACION DE LODOS PTAR SAN FERNANDO	TREN 1 DE TORNILLOS TRANSPORTADORES DE LODOS	TORNILLO TRANSPORTADOR DE LODOS VERTICAL VLC-1 4255499	MOTOR ELECTRICO CORRIENTE ALTERNA, 75,0 HP, 460,0 V, 1.780,0 RPM	Rodamientos Carcaza. Rotor Bornera. Ventilador Estator
				REDUCTOR	Eje piñones Sin fin corona Retenedores
				TORNILLO	ejes Chumacera Carcaza Cableado Poleas
				CONTROL ELECTRICO	Elementos de maniobra Elementos de control Elementos de protección Gabinete Indicadores Sensores
				BOMBA LUBRICACION	Tuberías Válvulas Manifold

Tabla 4 Taxonomía ubicación VLC\_1

Fuente: Elaboración propia

#### 4.5 Funciones y fallas funcionales del equipo

**Respondiendo a la pregunta** ¿Cuáles son las funciones del equipo en su contexto operativo?

Las funciones de un activo se definen como las tareas o actividades específicas para las que el activo está diseñado dentro de un sistema o proceso. Estas funciones son las capacidades o características esenciales que se esperan del activo para cumplir con los objetivos y requisitos operativos. El tornillo VLC 1 pertenece a un tren de tornillos encargados de transportar el Biosólido del área de deshidratación hasta el silo de almacenamiento. (Tabla 5)

Falla: Es cuando por alguna razón un equipo es incapaz de hacer lo que el usuario desea, este considerará que ha fallado. “Una falla funcional se define como la incapacidad de cualquier activo físico de cumplir una función según un parámetro de funcionamiento aceptable para el usuario” (Moubray, 2004) Haciendo un análisis de las posibles fallas funcionales se encuentran las fallas relacionadas a las principales funciones (Tabla .5)

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

PLANTA	PTAR SAN FERNANDO	
SISTEMA	EQUIPOS DESHIDRATACION DE LODOS	
EQUIPO	TREN DE TORNILOS	
Sub-equipo	VLC_1	
<b>Funciones Principales</b>		<b>Fallas funcionales</b>
Recibir biosólido de tornillo horizontal VFC_1	A	Totalmente incapaz de recibir el biosólido.
	B	Recibir meno de los 15 l/min de biosólido entregado por el tornillo VFC_1
Transportar biosólido a una a velocidad rotacional de 45 RPM	A	Incapaz de transportar el biosólido
	B	Su velocidad de rotación es superior a 45 RPM
	C	Su velocidad de rotación es inferior a 45 RPM
Depositar el biosólido a una altura de 10m	A	Es incapaz de depositar el biosólido en el silo ubicado 10m de altura
Evitar que se derrame el Biosólido	A	Permite derramar el biosólido que transporta

Tabla 5 Funcione y fallas funcionales

Fuente: Elaboración propia

#### 4.5 Matriz de criticidad

Con la matriz de criticidad utilizado en la monografía o trabajo de grado para la planta de tratamiento de aguas residuales “SAN FERNANDO” la matriz se basó en una investigación cuantitativa, también nos basamos en un modelo de *Failure Mode and Effect Analysis* (Análisis de Modo de Falla y Efecto), donde se centró en el análisis de datos como: causas de falla de una máquina, impactos causados por falla, que puede ocurrir por esta falla.

También se tomó como guía para la realización de la matriz de criticidad el método intuitivo, que se trata de un equipo interdisciplinario, donde cada quien expone su opinión de manera coherente y seria de lo que realmente está afectando o el proceso o se considera crítico, es de mucha importancia este método intuitivo ya que la opinión de cada indicado es subjetiva y con esto podemos llegar a cuerdo muy valiosos, para identificar los puntos críticos, llegar a una mejor toma de decisiones, estrategias en los diferentes ámbitos, generar valor a la compañía, clasificar la importancia del activo, validar la criticidad de diferentes componentes en función de lo que pueden ocasionar al proceso, probabilidad de ocurrencia de una situación no deseada.

FRECUENCIA DE FALLAS (FF)	PONDERACION
Mayor o igual a 8 fallas/mes	4
De 5 a7 fallas/mes	3
De 2 A 4 fallas/mes	2
Menor o igual a 1 falla/mes	1
IMPACTO OPERACIONAL (10)	
Parada inmediata de toda la producción	10
Afecta más del 50% a la producción	7

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Afecta menos del 50% a la producción	4
No afecta a la producción	1
<b>FLEXIBILIDAD OPERACIONAL (FO)</b>	
No se dispone de otro equipo igual o similar	4
El sistema puede seguir funcionando	2
Se dispone de otra equipo igual o similar	1
<b>COSTO DE MANTENIMIENTO (CM)</b>	
Mas de US\$ 10.000	3
Entre US\$ 5,000 y menos de US\$ 10,000	2
Menos de US\$ 5,000	1
<b>IMPACTO EN SEGURIDAD AMBIENTE HIGIENE (ISAH)</b>	
Afecta a la seguridad humana	8
Afecta al medio ambiente produciendo daños reversibles	6
Afecta las instalaciones causando daños severos	4
Provoca daños menores - accidentes e incidentes	2
Provoca impacto ambiental cuyo efecto no viola las normas ambientales	1
No provoca ningún tipo de daño a personas, instalaciones o al ambiente	0

Tabla 6 Tabla de ponderación

Fuente: Elaboración propia

Después de realizar la calificación según la Tabla 6 se obtiene la puntuación que se consigna en la tabla 7.

FRECUENCIA DE FALLAS (FF)	PONDERACION
De 2 A 4 fallas/mes	2
<b>IMPACTO OPERACIONAL (10)</b>	
Afecta mas del 50% a la producción	7
<b>FLEXIBILIDAD OPERACIONAL (FO)</b>	
Se dispone de otra equipo igual o similar	1
<b>COSTO DE MANTENIMIENTO (CM)</b>	
Menos de US\$ 5,000	1
<b>IMPACTO EN SEGURIDAD AMBIENTE HIGIENE (ISAH)</b>	
Afecta al medio ambiente produciendo daños reversibles	6

Tabla 7 Resultados de evaluación

Fuente: Elaboración propia

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Sustituyendo los valores en la ecuación de la tabla 7

Donde

$$\text{Frecuencia de fallas} = FF = 2$$

$$\text{Impacto Operacional} = IO = 7$$

$$\text{Flexibilidad Operacional} = FO = 1$$

$$\text{Costo mantenimiento} = CM = 1$$

$$\text{Impacto en seguridad y medio ambiente} = ISMA = 6$$

$$\text{Consecuencia de fallas} = Cf$$

De acuerdo con la ecuación 6

$$Cf = (IO * FO) + CM + ISMA$$

*Ecuación 6*

Se tiene que.

$$Cf = (4 * 1) + 1 + 6$$

$$\mathbf{Cf = 11}$$

Reemplazando en la ecuación 7 para hallar la criticidad total se tiene que:

$$\text{Criticidad} = FF * Cf$$

*Ecuación 7*

$$\text{Criticidad} = 11 * 2$$

$$\mathbf{\text{Criticidad total} = 22}$$

En la tabla 8 se encuentra el resultado del análisis de la matriz AMEF, donde se pueden observar cuales son de baja, media y alta criticidad de acuerdo con los colores (de color verde, naranja y rojo respectivamente).

 <b>Institución Universitaria</b>	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

MATRIZ DE RIESGO				
PROBABILIDAD				
IMPROBABLE	POSIBLE	OCASIONAL	MODERADA	CONSTANTE
2	4	6	8	10
2	4	6	8	10
4	8	12	16	20
6	12	18	24	30
8	16	24	32	40
10	20	30	40	50
0	0	0	0	0

Tabla 8 Matriz de riesgo

Fuente: Elaboración propia

COLOR	NIVEL DE RIESGO
2 A 8	RIESGO ACEPTABLE
10 A 18	RIESGO TOLERABLE
20 A 24	RIESGO ALTO
30 A 50	RIESGO EXTREMO

Tabla 9 Nivel de riesgo

Fuente: Elaboración propia

SEVERIDAD	
INSIGNIFICANTE	1
MENOR	2
MODERADO	3
CRITICO	4
CATASTROFICO	5

Tabla 10 Severidad.

Fuente: Elaboración propia



	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Según la Tabla 9 muestra que VLC\_1 está en un nivel de alto riesgo alto, de allí como empresa tomar las mejores decisiones y correctas para disminuir este indicador y así identificar las prioridades de mantenimiento e iniciar con una estrategia de mantenimiento adecuada para este activo.

#### 4.6 Análisis de modos y efectos de fallas (AMFE)

¿Qué pasa cuando ocurre cada falla?

¿De qué manera afecta cada falla? (Moubray, 2004)

El AMFE es una metodología de sistemática utilizada en mantenimiento e ingeniería para evaluar e identificar los posibles modos de falla de los activos o en una empresa de producción o sistema, también con este método de fallas también podemos evaluar sus efectos y las causas.

¿Para que se realiza un AMFE? El AMFE tiene como objetivo central es mitigar problemas prepararnos o anticiparnos a los acontecimientos, que se quiere con esto, mejorar la disponibilidad, confiabilidad de un proceso o un producto, evaluar la estimación o gravedad de estas consecuencias.

Si se desea realizar un AMFE se debe conocer muy bien el equipo o proceso a tratar por eso es de suma importancia que se tenga ayuda de con un grupo interdisciplinario especialista en el proceso o activo, porque cada uno puede brindar su opinión especializada, unificar criterios, revisar la data, recolección de información e integrar datos que sirvan para la realización de un AMFE eficaz y que de verdad sirva para atacar los problemas o consecuencias de los fallos, debemos seguir los siguientes pasos.

2. Selecciona un proceso.
  3. Reúne al equipo especializado.
  4. Identifica las fallas y su alcance.
  5. Localiza controles de prevención.
  6. Calcula el NPR.
  7. Detecta el nivel de riesgo de la falla.
- Ejecuta acciones preventivas y correctivas

El método que se va a utilizar es el Análisis de modo y efecto de fallas (AMEF) por sus siglas en inglés. Es un método sistemático para identificar y evaluar los posibles modos de falla de un sistema y sus efectos. El AMFE implica la identificación de modos de falla potenciales, la evaluación de su gravedad, probabilidad de ocurrencia y capacidad de detección, para priorización de acciones que permitan prevenir o mitigar las fallas. (Kumar et al., 2023)

En la tabla x se muestra el encabezado del la matriz AMFE desarrollada que se muestra completa en le Anexo B y es posible identificar cada ITEM con más detalle.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

## MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA Y EFECTOS- AMFE

HOJA DE INFORMACIÓN AMFE		ELEMENTO: VLC		Fecha inicial	Realizado por:			
		COMPONENTE: VLC		Fecha final	Revisado por:			
SUBSISTEMA/ SUBUNIDAD	FUNCIÓN	TIPO DE FUNCIÓN	FALLO FUNCIONAL	MODO DE FALLA (CAUSA DE LA FALLA)	EFFECTOS DE LAS FALLAS (QUE SUCEDE)	Efecto final	Mecanismo de la falla	Método de detección

Tabla 11 Encabezado matriz AMFE

Fuente: Elaboración propia

Con el análisis se puede dar respuesta a las preguntas:

- ¿De qué forma puede fallar al cumplir sus funciones?
- ¿Qué causa cada falla funcional?

Después de realizar al análisis de la matriz AMEF e identificando los posibles modos de falla Del sub-equipo VLC\_1se evidencia que según el histórico de fallas (Anexo A), no se tiene bien definido el tipo falla

Teniendo en cuenta los resultados se propone una estrategia se pretende disminuir el tiempo de reparación y aumentar la confiabilidad atacando las fallas más representativas

### 4.7 Estrategia

Para cumplir el objetivo específico 2 (crear una propuesta para mejorar el plan de mantenimiento basado en el modelo RCM para el sub-equipo VLC-1 aquí se debe responder a las preguntas:

- ¿Qué se debe hacer para predecir o prevenir cada falla?
- ¿Qué se puede hacer si no se puede prevenir o predecir la falla?

Para predecir o prevenir cada falla, se pueden implementar varias estrategias y actividades de mantenimiento. A continuación, se presentan algunas acciones comunes que se pueden llevar a cabo.

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

La estrategia planteada para aumentar la Confiabilidad del equipo VLC\_1 a 96% está basada en disminuir el MTTR y mejorar el MTBF (Tabla 6).

	Actual	Proyección
<b>Total fallas</b>	<b>60</b>	<b>56</b>
<b>Tiempo total 01/01/22 -28/05/23 días</b>	<b>573</b>	<b>573,0</b>
<b>Tiempo de reparación horas</b>	<b>732</b>	<b>512,0</b>
<b>Tiempo Total</b>	<b>13752</b>	<b>13752,0</b>
<b>TO tiempo de operación horas</b>	<b>13020</b>	<b>13240,0</b>
<b>MTTR</b>	<b>12,20</b>	<b>9,14</b>
<b>MTBF</b>	<b>217,00</b>	<b>236,43</b>
<b>Confiabilidad Inherente</b>	<b>94,68%</b>	<b>96,28%</b>

*Tabla 12 Proyección para indicadores*

Fuente: Elaboración propia

Para poder lograr los valores de los Indicadores MTTR y MTBF es necesario que el # de falla y el total de horas esté según lo esperado en la proyección de la Tabla 7. Esta será la meta esperada para que los indicadores proyectados (tabla 6) se cumplan.

Descripción falla	Actual		Proyección	
	# Fallas	Total, horas	# Fallas	Total, horas
Presenta fuga de biosólidos	11	379	8	222
Alta vibración	4	128	2	65

*Tabla 13 Valores deseados en Falla y tiempo fallas*

Fuente: Elaboración propia

#### 4.8 Análisis de costos

Costos mantenimiento por fallas VLC\_1.

Teniendo en cuenta las fallas y sus costos asociados (tabla 8) se observa que el costo de realizar el mantenimiento a este equipo es de **\$47.597.000** del cual el costo de las Fallas más comunes está asociado a la falla (presenta fuga de biosólido) con un valor de **\$26.050.000**

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

que corresponde al 54.7 % de costo total, lo que significa que se debe intervenir con urgencia.

Descripción de fallas	Costos Mantenimiento	%Costo
Presenta fuga de biosólidos	26.050.000	54,7%
Alta vibración	4.916.000	10,3%
Perdida lubricación	3.735.000	7,8%
Se apaga constantemente	3.635.000	7,6%
Ruido parte superior	2.411.000	5,1%
Paros menores	1.634.000	3,4%
Fuga de aceite motorreductor	1.600.000	3,4%
Presenta problemas al arrancar	1.359.000	2,9%
Se dispara continuamente	688.000	1,4%
Bajo nivel de grasa	875000	1,8%
Ruido en motor	694000	1,5%
<b>TOTAL, COSTOS</b>	<b>47.597.000</b>	<b>100%</b>

Tabla 14 Costos asociados a las fallas

Fuente: Elaboración propia

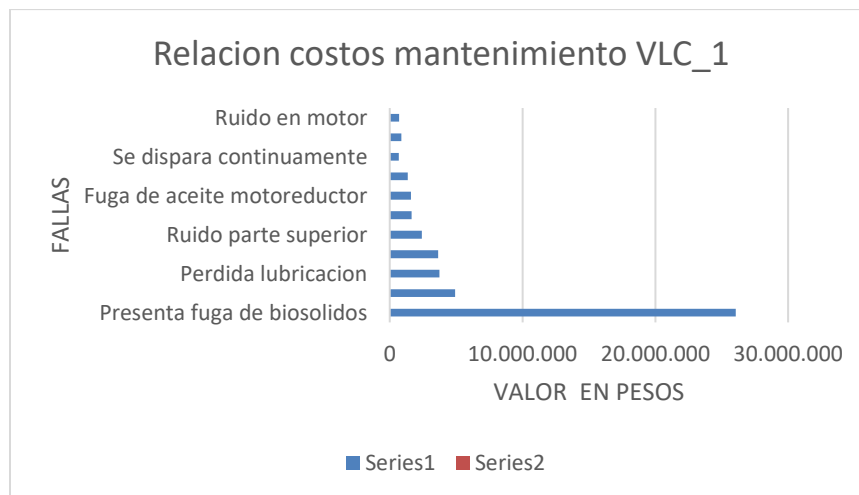


Tabla 15 relación costos mantenimiento

Fuente: Elaboración propia.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

## 5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

---

- Se propone una estrategia de mantenimiento basado en RCM en la cual se busca aumentar la confiabilidad del equipo VLC\_1 a 96% se realiza el análisis del histórico de fallas se evidencian dos Fallas considerables que afectan directamente la Confiabilidad del equipo y el sistema de tornillos. Se propone como parte de la estrategia trabajar y disminuir la cantidad de paros y los tiempos asociados a estas dos fallas
- Se encontró en el desarrollo de la estrategia lo importante que es tener buena información para realizar un buen trabajo con RCM. esto con el fin de poder desarrollar adecuadamente la metodología y encontrar un resultado más confiable
- Se propone que por de la matriz de criticidad, se pueda jerarquizar las tareas de mantenimiento con mayor probabilidad de fallas, para evitar la incertidumbre de posibles fallos funcionales.
- Se recomienda revisiones con una mayor frecuencia a los componentes más críticos como lo son chumaceras y correas ya que en estos componentes se puede evidenciar los modos de falla de mayor frecuencia y críticos para el activo.
- Se recomienda una mejor gestión del conocimiento ya que se evidencio falta de conocimiento en ciertos aspectos técnicos de mantenimiento, proponer capacitaciones con los proveedores con respecto a la importancia de los sistemas de transmisión y lubricación y con inciden en el mantenimiento.

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

## 6. REFERENCIAS

---

- Área metropolitana Valle de Aburra. (2019). *EL SANEAMIENTO DEL RÍO ABURRÁ - MEDELLÍN YA ESTÁ EN UN 84%*. Oficina Asesora de Comunicaciones, Medellín. Recuperado el abril de 2023, de <https://www.metropol.gov.co/Paginas/Noticias/elmetropolitano-ambiental/el-saneamiento-del-rio-aburra-ya-esta-en-un-84-porciento.aspx>
- Shubham Kumar, T. B. (2023). FMEA and FTA of coal handling system of power plant,. *Materials Today: Proceedings,, 90, 197*. Obtenido de (<https://sciencedirect.bibliotecaitm.elogim.com/science/article/pii/S2214785323033916>)
- Campos-López, O., Tolentino-Eslava, G., & Toledo-Velázquez, M. (2019). Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, base de datos y criticidad de efectos. *Científica, 23, 59*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/614/61458265006/html/>
- Fuenmayor, E. (27 de Junio de 2020). Análisis de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad de un sistema de bombeo. *RELIABILITY CONNECT*. Obtenido de <https://esp.reliabilityconnect.com/analisis-de-confiabilidad-disponibilidad-y-mantenibilidad-de-un-sistema-de-bombeo/>
- Gilliland, K. (5 de marzo de 2018). *Company, Tomas conveyor. Screwconveyorparts.com/*. Recuperado el 10 de noviembre de 2023, de <https://www.screwconveyorparts.com/wp-content/uploads/2018/04/Thomas-catalog-SCP.pdf>
- I.K. Kalavrouziotis, S. K. (2023). *Benefits from reclaimed wastewater and biosolid reuse in agriculture and in the environment,*. Recuperado el 10 de Octubre de 2023, de (<https://sciencedirect.bibliotecaitm.elogim.com/science/article/pii/B9780323952804000035>)
- JIMENEZ, D. D. (2022). *Plan maestro de mantenimiento preventivo de lubricacion*. Veracruz.
- Moubray, J. (2004). *RCM II Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (versión en Español)*. (A. Ltd, Ed., & S. Y. ELLMANN, Trad.)
- Muller, A. M. (2020). The pollution conveyed by urban Runoff.
- Organizacion Mundial de la salud OMS. (2021). *Agua. Resumen actualizado de 2021 sobre los progresos en el ODS 6: agua y saneamiento para todos*. Recuperado el 22 de junio de 2023, de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Burchi, S. (2019). The future of domestic water law: Trends and developments revisited, and where reform is headed. *Water International*, 44(3), 258-277. doi:10.1080/02508060.2019.1575999

Sanchez, g. (2023, febrero 6). Dynamic management of periodicity between measurements in predictive maintenance. *ELSEVIER*, 1(1), 14. 1

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

*MTTR = Tiempo de reparación Numero de fallas*

*MTBF = Tiempo de operación Número de fallas*

*Confiabilidad = (%R) =  $\frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$*

*RS = Cf1 \* Cf2 \* Cf3X ... .. Cfn*

*RS = 0.99 \* 0.99 \* 0.96*

*Cf = IO \* FO + CM + ISMA*

*Criticidad = FF \* Cf*

Ecuación 1 ..... 21

Ecuación 2 ..... 21

Ecuación 3 ..... 23

Ecuación 4..... 23

Ecuación 5 ..... 24

Ecuación 6 ..... 31

Ecuación 7 ..... 31



 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

## 7. ANEXOS

### Anexo A

#### Historial de fallas VLC\_1 (01/01/2022 a 28/08/2023)

Orden de trabajo	Activo	FECHA	Tiempo	FALLA
18968540	4255497	28/08/2023	25	Alta vibración
18827507	4255497	15/08/2023	35	Presenta fuga de biosólidos
18650237	4255497	28/08/2023	4	Se dispara continuamente y presenta vibración
18369341	4255497	13/07/2023	2	Se dispara continuamente y presenta vibración
18216633	4255497	8/07/2023	45	Presenta fuga de biosólidos
17926508	4255497	7/07/2023	2	Paros menores
17926470	4255497	15/06/2023	4	Paros menores
17662643	4255497	29/06/2023	42	Presenta fuga de biosólidos
17518308	4255497	23/05/2023	12	Fuga de aceite motorreductor
16985553	4255497	29/05/2023	25	Se apaga constantemente
16830019	4255497	28/04/2023	22	Presenta fuga de biosólidos
16628736	4255497	26/04/2023	12	Ruido parte superior
16291592	4255497	1/03/2023	35	Alta vibración
16291581	4255497	9/02/2023	2	Se dispara continuamente y presenta vibración
16114266	4255497	3/01/2023	4	Se dispara continuamente y presenta vibración
16028220	4255497	5/12/2022	25	Presenta fuga de biosólidos
14593098	4255497	5/12/2022	15	Presenta fuga de biosólidos
14537487	4255497	3/11/2022	2	Paros menores
13463785	4255497	25/11/2022	15	Presenta problemas para arrancar
11699656	4255497	19/11/2022	3	Ruido en motor
13315718	4255497	16/11/2022	10	Fuga de aceite motorreductor
11808861	4255497	15/10/2022	25	perdida de lubricación
11699656	4255497	25/10/2022	45	Presenta fuga de biosólidos
9615741	4255497	25/10/2022	7	Bajo nivel de grasa
9464214	4255497	25/10/2022	22	Presenta fuga de biosólidos
8414124	4255497	19/09/2022	6	Bajo nivel de grasa
8251856	4255497	19/09/2022	30	Ruido parte superior
7267726	4255497	16/08/2022	24	Presenta fuga de biosólidos
7152109	4255497	19/08/2022	5	Se dispara continuamente y presenta vibración
6258502	4255497	5/08/2022	2	Se dispara continuamente y presenta vibración

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>			Código	FDE 089
				Versión	04
				Fecha	24-02-2020

6172181	4255497	19/07/2022	35	Alta vibración
5237105	4255497	19/07/2022	25	Presenta fuga de biosólidos
5175905	4255497	25/06/2022	4	paros menores
4837361	4255497	11/05/2022	24	Presenta fuga de biosólidos
4769749	4255497	25/05/2022	30	Presenta fuga de biosólidos
4408170	4255497	11/04/2022	2	paros menores
4334416	4255497	26/03/2022	18	Presenta problemas para arrancar
3490848	4255497	12/03/2022	15	Ruido parte superior
3262713	4255497	11/03/2021	2	paros menores
2909211	4255497	26/03/2022	12	Ruido parte superior
1012783	4255497	18/02/2022	33	Alta vibración
909374	4255497	15/02/2022	25	Presenta fuga de biosólidos

Anexo B

## MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA Y EFECTOS- AMFE

HOJA DE INFORMACIÓN AMFE		ELEMENTO: VLC		Fecha inicial	Realizado por:				
		COMPONENTE: VLC		Fecha final	Revisado por:				
SUBSISTEMA/ SUBUNIDAD	FUNCIÓN	TIPO DE FUNCIÓN	FALLO FUNCIONAL	MODO DE FALLA (CAUSA DE LA FALLA)	EFFECTOS DE LAS FALLAS (QUE SUCEDE CUANDO FALLO)	Efecto final	Mecanismo de la falla	Método de detección	
REDUCTOR	1 Reducir la velocidad de 1750 rpm a 440 rpm	Función principal	A daño de piñonera interna	1	Rodamiento del reductor del puente desgastado	El rodamiento comienza a desgastarse, se incrementa la temperatura	se detiene el reductor	Desgaste	Monitoreo de la condición

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>				Código	FDE 089
					Versión	04
					Fecha	24-02-2020

	relación (4 a 1)					del rodamiento y con el tiempo el rodamiento se frena, hay incremento de ruido en el área del reductor, lo que hace que el motor incremente el esfuerzo para mover el reductor, en algún momento la corriente del motor se aumenta por encima de 99 A.			
				2	Piñones del reductor desgastados	Cuando los piñones comienzan a desgastarse desprenden partículas metálicas, con el tiempo se parten los dientes del piñón, esto acelera el daño de los componentes internos de reductor e incrementa el ruido externo, El reductor se frena y el motor incrementa la corriente y en un valor igual o superior a	se detiene el reduct or	Desgas te	Monitoreo de la condición periodica

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

						99 A, se envía una señal al DCS para su intervención. Tiempo para diagnosticar, cambiar el reductor y colocar en funcionamiento es de aproximadamente 9 horas.			
				3	Piñones del reductor lubricado por debajo del mínimo	Si hay baja lubricación de aceite aumenta el contacto entre los dientes de los piñones, acelera el desgaste y hay desprendimiento de partículas metálicas, los dientes de los piñones se parten y esto acelera el daño de los componentes internos del reductor e incrementa el ruido externo, El reductor se frena y el motor incrementa la corriente y en un valor igual o superior a	se detiene el reductor	Lubricación	Inspección.

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>				Código	FDE 089
					Versión	04
					Fecha	24-02-2020

						99A, se envía una señal al DCS para su posterior revisión. Tiempo para diagnosticar, cambiar el reductor y colocar en funcionamiento 10 horas.					
CHUMACERA	2	sirve para brindar soporte a un eje de rotación y va colocado paralelamente al eje del árbol.	Función principal	A	daño en rodamientos	1	Rodamiento con alta contaminación	el rodamiento se desgasta por sustancias solidas que le pueden ingresar por el tipo de proceso que se maneja, ya que por gravedad el biosólido, puede infiltrarse entre el aro interior y el aro exterior. Donde por medio de se produce microfisuras y rayones en los rodillos cónicos de allí puede ocasionar vibraciones y desgaste prematuro	se dañan los rodamientos	Desgaste	Monitoreo de la condición periódica

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>				Código	FDE 089
					Versión	04
					Fecha	24-02-2020

				2	<p>desgaste abrasivo. Corrosión (ISO 5.3)</p>	<p>el rodamiento sufre un gran desgaste prematuro, es la principal causa de daños en rodamientos es degenerativo en el tiempo y esto conlleva a cambiar o modificar la micro geometría de los cilindros cónicos y las pistas internas, con este modo de falla desgasta la pista interior o crea una huella nada conveniente para la vida útil del rodamiento. Fallo total del activo</p>	<p>se daña los rodamientos</p>	<p>Lubricación</p>	<p>Monitoreo de la condición periodico</p>
				3	<p>corrosión por humedad.</p>	<p>sí tenemos demasiado humedad, esta va desplazando la película lubricante o incluso ayuda a la degradación del lubricante o generar condensación como tal, la humedad</p>	<p>se daña los rodamientos</p>	<p>Desgaste</p>	<p>Inspección.</p>

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL  TRABAJO DE GRADO</b>				Código	FDE 089
					Versión	04
					Fecha	24-02-2020

						logra causar un daño irreversible entre la separación de los elementos rodantes, cuando falla por humedad normalmente un ruido excesivo, hasta terminar con detener el activo o falla total.			
				4	la vibro corrosión	se produce un contacto severo entre los elementos rodantes ya sea por vibraciones y movimientos oscilantes, esto conlleva a que la carpa superficial que tare el rodamiento se desgaste muy prematuramente se idéntica por medio de una oxidación negra/roja, esto conlleva una falla total del rodamiento.	daño total	desgaste	Inspección.

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL  TRABAJO DE GRADO</b>				Código	FDE 089
					Versión	04
					Fecha	24-02-2020

POLEAS	3	Función principal	A	1	tensión incorrecta	fallo por rotura	la banda comienza a desgastarse por mal montaje, está mal montada en las ranuras de las poleas esto afecta negativamente a la fiabilidad y eficacia de la transmisión por correa, se rompen y todo el sistema falla ya que no permite transmitir movimientos al otro elemento.	no transmite movimiento	Desgaste	Monitoreo de la condición
					2	demasiado tensionada	por desgaste	si encontramos la correa demasiado tensionada, podemos tener problemas en los rodamientos ya que esta sobretensión actúa sobre los mismos, podemos analizar un aumento en la corriente del motor y provocar calentamientos severos, si	no transmite movimiento	Desgaste



	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>				Código	FDE 089
					Versión	04
					Fecha	24-02-2020

						esto ocurre llega a una falla total.				
				3	poca tensión	daños prematuros	si dejamos las correas con poca tensión, notaremos que las correas patinan, que quiere decir esto, van a generar más fricción, provocando un porcentaje alto en calor puntual, esto ayuda la deterioro de prematuro de las correas y sobrecalenta mientos a las poleas, se llega a una falla total	no transmite movimiento	Desgaste	Monitoreo de la condición
				4	desgastadas	vida útil	después de que pasa el tiempo de uso o recomendación del fabricante las correas comienzan a romperse y esto ocasiona que el tornillo se detenga, ocasionando parada súbita	no transmite movimiento	Desgaste	Monitoreo de la condición

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>		Código	FDE 089
			Versión	04
			Fecha	24-02-2020

				5	desgaste por fricción	<p>cuñero de la polea presenta desgaste y por ende un ajuste muy holgado generando fricción entre las poleas y el eje, donde se desprende viruta metálica y la cuña tiende a perder ajuste o fracturarse, esto conlleva a que se pierda la transmisión entre el motor y el reductor parando el sistema como tal.</p>	no transmite movimiento	Desgaste	Monitoreo de la condición	
				6	alineación incorrecta	<p>daño en los dientes de la correa</p>	<p>se debe a una mala alineación de las poleas, esto conlleva a un desgaste prematuro y se verá reflejado en el daño de los dientes de las correas, se desgasta, se fractura la correa y llega una falla total de la transmisión.</p>	no transmite movimiento	Desgaste	Monitoreo de la condición

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>				Código	FDE 089
					Versión	04
					Fecha	24-02-2020

GABINETE ELECTRICO	4	un gabinete eléctrico es un activo con diferentes dispositivos de conexión, control, maniobra, protección, medida, señalización y distribución de la parte eléctrica	Función principal	A	1	daño grave en el contactor del tablero esto impide que el motor no cumpla su función, que es transmitir energía eléctrica y transfórmala en energía mecánica que impide el funcionamiento del tornillo	no está funcionando el activo	Desgaste	Monitoreo de la condición periodico
					2	si este mecanismo se encuentra pegado y no acciona, tendremos la posibilidad que, en caso de una emergencia con un operador, pueda traer consecuencias graves y físico para la persona	no se acciona	pulsador	monitoreo semanal
			paro deshabilitado		3	fallo por rotura	no envía la señal	eléctrico	monitoreo cada que se intervenga

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>				Código	FDE 089
					Versión	04
					Fecha	24-02-2020

						se encuentra deshabilitado podemos tener inconvenientes de seguridad física para los operarios y personal de mantenimiento			
				4	no envía el suficiente corriente	sí, no envía la suficiente corriente el motor no tendrá la energía mecánica suficiente para cumplir su labor y con esto vamos a tener atascamientos o disparos por atasco.	se dañan los rodamientos	Lubricación	Monitoreo de la condición periódico
CARCAZ A	5	estructura y soporte	Función principal	daño en la artesa	1 grietas	la artesa comienza a desgastarse por fricción entre la artesa y el tornillo, por corrosión debido a su larga vida útil y el tipo de producto que transporta, puede suceder derrame de biosólido, provocando vertimientos, que no son	daño en estructura	Desgaste	monitoreo mensual

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>				Código	FDE 089
					Versión	04
					Fecha	24-02-2020

						buenos para el medio ambiente y el proceso					
					2	corrosión por humedad.	las aspas comienzan a deteriorarse, empiezan a desprender pedazos de hierro que son partes de las aspas, estas a su vez, generan interferencia con las aspas buenas y puede generar atascamiento , provocando sobrecarga y paradas súbitas.	daño aspas	Desgaste	Monitoreo de la condición	
					3	desgaste	la canoa se empieza a descarta por la fricción, de las partículas del biosólido contra la canoa y las aspas, generando grietas y por ende derrame de biosólido.	daño canoa	Desgaste	monitoreo mensual	
TORNILLO	6	sirve para sostener el movimiento de un conjunto	Función principal			1	desgaste	después de un tiempo el buje comienza a desgastarse, generando desalineación lo que	daño en buje	Desgaste	Monitoreo de la condición

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL  TRABAJO DE GRADO</b>				Código	FDE 089
					Versión	04
					Fecha	24-02-2020

						procede con una holgura y vibraciones más fuertes, puede también afectar los rodamientos superiores e inferiores, también puede generar rose tornillo, artesa, se genera daño parcial, pero se incrementa hasta la falla total				
					2	desgaste	después de un tiempo bastante largo las partículas de arena y elementos extraños empiezan a dañar el eje, producción oscilaciones, vibraciones y desalineación del eje, ocasionado daños en el reductor, chumacera, entre otros elementos críticos del activo	daño eje	Desgaste	Monitoreo de la condición

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>		Código	FDE 089
			Versión	04
			Fecha	24-02-2020

				3	corrosión por humedad.	después de pasado un tiempo, por el tipo de producto que transporta puede genera corrosión severa del eje, ocasionado desprendimiento de partículas y dañando rodamiento, chumaceras, ocasiona daños en el funcionamiento del activo	daño eje	corrosión	Monitoreo de la condición
				4	ruptura eje	cuando se presenta un torque insuficiente o atascamiento, esto puede generar una ruptura del eje principal, afectado todo el funcionamiento del tornillo	ruptura eje	cizallamiento	Monitoreo de la condición
MOTOR	1	Convertir Energía Eléctrica a Mecánica: A medida que el rotor gira a	Función principal	Incapacidad de convertir la energía eléctrica a energía mecánica	1	Carga excesiva Baja tensión, Falta de ventilación, Rodamientos defectuosos u otros problemas.	Generación calor excesivo Sobrecalentamiento		Monitoreo de la condición periódico y verificación de Repuestos

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

1800 RPM con una potencia de 75HP	ca en movimiento rotacional a 1800 RPM y 75HP	2	La falta de lubricación, l Contaminación, Fatiga o el envejecimiento	Rodamientos desgastados	Perdida eficiencia	Monitoreo de la condición periódico
		3	Envejecimiento, contaminación, humedad defectos de fabricación. Sobrecalentamiento	Falla de aislamiento		Monitoreo de la condición periódico
		4	Cortocircuitos, Sobrecalentamiento, Vibraciones excesivas Defectos de fabricación	Fallas de bobinado		Monitoreo de la condición periódico
		5	desalineación puede ocurrir debido a montajes incorrectos, vibraciones, golpes o desgaste del tiempo.	Desalineación del rotor y estator		Monitoreo de la condición periódico
		6	Desgaste irregular, Pérdida de material Montajes defectuosos	Desbalanceo del roto		Monitoreo de la condición periodico
		7	Cortocircuitos Sobrecalentamiento extremo	Riesgos para la seguridad		Monitoreo de la condición periodico



	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

			8 Golpes Caídas Vibraciones severas	Impactos mecánicos		Monitoreo de la condición periódico
--	--	--	--	-----------------------	--	---

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

ANEXO\_C

MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD																	
HOJA DE DECISIÓN RCM2			ELEMENTO: REDUCTOR						Fecha inicial			Realizado por: TEAM RCM					
			COMPONENTE: REDUCTOR						Fecha final			Revisado por:					
AMFE			Evaluación de las consecuencias				H1 S1	H2 S2	H3 S3	Tareas "a falta de"			Tarea a realizar	Frecuencia	Ejecutor	Require parada de la maquina	Recomendacion del fabricante
F	FF	MF	H	S	E	O	O1 N1	O2 N2	O3 N3	H4	H5	S4					
1	A	1	S	N	N	S	S						Hacer medición de vibraciones en los rodamientos del reductor del puente, verificar valores y espectro	1 mes	Tecnico de planta	no	SI
1	A	2	S	N	N	S	S						Hacer análisis de aceite del reductor del puente para encontrar partículas contaminantes, si encuentra partículas mayores a los establecidos, Programar cambio de aceite o revisión de piñonera	6 meses	Tecnico planta	SI	SI
1	A	3	S	N	N	S	S						Inspeccionar el nivel de aceite en el reductor del motor del puente, retirar el tapón y confirmar que salgan gotas de aceite, completar si es necesario.	6 meses	Tecnico Mecanico	SI	SI

**MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD**

<b>HOJA DE DECISIÓN RCM2</b>	<b>ELEMENTO:</b> POLEAS							<b>Fecha inicial</b>			<b>Realizado por:</b> TEAM RCM						
	<b>COMPONENTE:</b> POLEAS							<b>Fecha final</b>			<b>Revisado por:</b>						
<b>AMFE</b>			<b>Evaluación de las</b>				<b>H1</b>	<b>H2</b>	<b>H3</b>	<b>Tareas</b>			<b>Tarea a realizar</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Ejecutor</b>	<b>Require parada de la maquina</b>	<b>Recomendacion del fabricante</b>
<b>F</b>	<b>FF</b>	<b>MF</b>	<b>H</b>	<b>S</b>	<b>E</b>	<b>O</b>	<b>S1 O1</b>	<b>S2 O2</b>	<b>S3 O3</b>	<b>H4</b>	<b>H5</b>	<b>S4</b>					
1	A	1	S	N	N	S	S						realizar el montaje de las correas con personal experto que sepan de alineacion entre poleas y utilizar medidor de tension tipo lapiz.	1 mes	Tecnico de planta	no	SI
1	A	2	S	N	N	S	S						realizar el montaje de las correas con personal experto que sepan de alineacion entre poleas y utilizar medidor de tension tipo lapiz.	6 meses	Tecnico planta	SI	SI
1	A	3	S	N	N	S	S						realizar el montaje de las correas con personal experto que sepan de alineacion entre poleas y utilizar medidor de tension tipo lapiz.	6 meses	Tecnico Mecanico	SI	SI
1A		4	S	N	N	S	S						despues de verificar el estado de las correas de transmision, debemos cambiar todas las correas, no solo la que esta en mal estado, verificar marca, realizar seguimiento y cual nos da mejor rendimiento	6 meses	Tecnico Mecanico	si	si
1A		5	S	N	N	S	S						realizar o implemetar un paso a paso de la instalcion correcta de las bandas o correas, capacitacion y verificacion de montaje	6 meses	Tecnico Mecanico	SI	SI

<b>HOJA DE DECISIÓN</b>	<b>ELEMENTO:</b> CHUMACERA							<b>Fecha inicial</b>			<b>Realizado por:</b> Tecnico Mecanico			
	<b>COMPONENTE:</b> CHUMACERA							<b>Fecha final</b>			<b>Revisado por:</b>			

**MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD**

<b>HOJA DE DECISIÓN RCM2</b>	<b>ELEMENTO:</b> GABINETE ELECTRO							<b>Fecha inicial</b>			<b>Realizado por:</b> TEAM RCM						
	<b>COMPONENTE:</b> GABINETE ELECTRO							<b>Fecha final</b>			<b>Revisado por:</b>						
<b>AMFE</b>			<b>Evaluación de las</b>				<b>H1</b>	<b>H2</b>	<b>H3</b>	<b>Tareas</b>			<b>Tarea a realizar</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Ejecutor</b>	<b>Require parada de la maquina</b>	<b>Recomendacion del fabricante</b>
<b>F</b>	<b>FF</b>	<b>MF</b>	<b>H</b>	<b>S</b>	<b>E</b>	<b>O</b>	<b>S1 O1</b>	<b>S2 O2</b>	<b>S3 O3</b>	<b>H4</b>	<b>H5</b>	<b>S4</b>					
1	A	1	S	N	N	S	S						Realizar verificaciones de estado del rodamiento, y si le esta ingresando biosolido por los sello, filtrado de los	1 mes	Tecnico mecanico	si	SI
1	A	2	S	N	N	S	S						Realizar revisiones periodicas para analizar donde le esta ingresando el agua o el biosolido, se puede construir una gabinete y limpiar con limpiador de contacto.	2 meses	electricista	si	SI
1	A	3	S	N	N	S	S						Realizar verificaciones de estado del rodamiento, y si le esta ingresando biosolido por los sello, filtrado de los	1 mes	electricista	SI	SI
1	A	4	S	N	N	S	S						Realizar verificaciones de estado del rodamiento, y si le esta ingresando biosolido por los sello, filtrado de los	3 meses	electricista	SI	SI
1	A	5	S	N	N	S	S						Realizar verificaciones de estado del rodamiento, y si le esta ingresando biosolido por los sello, filtrado de los	1 mes	electricista	SI	SI
1A		6	S	N	N	S	S						verificar que los conductores eletricos esten bien apretados y que tengan continuidad, pruebas de termografia, para revisar altas temperaturas	1 mes	electricista	SI	SI

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

### MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD

<b>HOJA DE DECISIÓN RCM2</b>	<b>ELEMENTO:</b>							<b>Fecha inicial</b>						<b>Realizado por: TEAM RCM</b>			
	CARCAZA																
	<b>COMPONENTE:</b>							<b>Fecha final</b>						<b>Revisado por:</b>			
<b>AMFE</b>			<b>Evaluación de las</b>				<b>H1</b>	<b>H2</b>	<b>H3</b>	<b>Tareas</b>			<b>Tarea a realizar</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Ejecutor</b>	<b>Require parada de la maquina</b>	<b>Recomendacion del fabricante</b>
<b>F</b>	<b>FF</b>	<b>MF</b>	<b>H</b>	<b>S</b>	<b>E</b>	<b>O</b>	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>S3</b>	<b>H4</b>	<b>H5</b>	<b>S4</b>					
1	A	1	S	N	N	S	S						Realizar verificaciones de la artesa, como observar vertimientos, fisuras, corrosion, etc. Realizar inspeccion visual de la estructura	1 mes	mecanico	no	SI
1	A	2	S	N	N	S	S						verificar las aspas, destapando los casquetes de la artesa, observar si se estan desgastando o si tienen corrosion, llevar registro o trazabilidad de vida util.	12 meses	mecanico	SI	SI
1	A	3	S	N	N	S	S						Realizar verificaciones de la artesa, como observar vertimientos, fisuras, corrosion, etc. Realizar inspeccion visual de la estructura	1 mes	mecanico	SI	SI

### MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD

<b>HOJA DE DECISIÓN RCM2</b>	<b>ELEMENTO:</b>							<b>Fecha inicial</b>						<b>Realizado por: TEAM RCM</b>			
	TORNILLO																
	<b>COMPONENTE:</b>							<b>Fecha final</b>						<b>Revisado por:</b>			
<b>AMFE</b>			<b>Evaluación de las</b>				<b>H1</b>	<b>H2</b>	<b>H3</b>	<b>Tareas</b>			<b>Tarea a realizar</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Ejecutor</b>	<b>Require parada de la maquina</b>	<b>Recomendacion del fabricante</b>
<b>F</b>	<b>FF</b>	<b>MF</b>	<b>H</b>	<b>S</b>	<b>E</b>	<b>O</b>	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>S3</b>	<b>H4</b>	<b>H5</b>	<b>S4</b>					
1	A	1	S	N	N	S	S						Realizar verificaciones del buje, observar si el componente tiene virutas o limañas metalicas esto es un indicador de roce mecanico, verificar espesores con pie de rey	3 meses	mecanico	si	SI
1	A	2	S	N	N	S	S						revisar alineacion del eje motriz, revisar friccion de las partes mecanicas, revisar cuñas que esten en buen estado, revisar la camisa de ingreso al eje, revisar vibraciones.	6 meses	mecanico	SI	SI
1	A	3	S	N	N	S	S						Realizar estado del eje, tomar mediciones de dasgate con pie de rey, revisar lubricacion para evitar corrosion.	1 mes	mecanico	SI	SI
1	A	4	S	N	N	S	S						realizar verificaciones de vibraciones, que no esten pasando los limites definidos ya que esto puede ocasionar cizallamiento en el eje	6 meses	mecanico	SI	SI

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

<b>MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD</b>																	
<b>HOJA DE DECISIÓN RCM2</b>	ELEMENTO:							Fecha inicial			Realizado por: TEAM RCM						
	MOTOR																
	COMPONENTE:							Fecha final			Revisado por:						
	MOTOR																
AMFE			Evaluación de las				H1	H2	H3	Tareas			Tarea a realizar	Frecuencia	Ejecutor	Require parada de la maquina	Recomendacion del fabricante
F	FF	MF	H	S	E	O	S1 O1	S2 O2	S3 O3	H4	H5	S4					
1	A	1	S	N	N	S	S						Realizar verificaciones en vacio de funcionamiento del tornillo, si no encontramos atascamiento o ruidos inusuales, que gire normalmente.	6 meses	electricista	no	SI
1	A	2	S	N	N	S	S						utilizar estetoscopio para revisar o escuchar los rodamientos del motor, lubricacion periodica.	3 meses	mecanico	no	SI
1	A	3	S	N	N	S	S						cada que lubricamos el motor debemos quitar el tapon de desfogue para evitar que la grasa recircule en la bobina del motor.	1 mes	mecanico	SI	SI
1	A	4	S	N	N	S	S						utilizar megger para revisar o realizar pruebas de aislamiento y realizar limpieza con quimico dielectrico	6 meses	electricista	SI	SI
1	A	5	S	N	N	S	S						revisar alineacion del eje motriz, revisar friccion de las partes mecanicas, revisar cuñas que esten en buen estado, revisar la camisa de ingreso al eje, revisar vibraciones.	7 meses	mecanico	si	SI
1	A	6	S	N	N	S	S						revisar empalmes y unines defectuosas, revisar el alto consumo de corriente, verificar cables que no esten mordidos, revisar fusibles.	8 meses	electricista	si	SI

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

FIRMA ESTUDIANTES

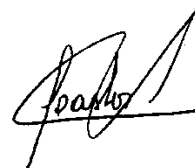
---



---



---



FIRMA ASESORES

---



---

Noviembre 17 de 2023

FECHA ENTREGA: \_\_\_\_\_