

**IMPLEMENTACION DEL ANALISIS DE CRITICIDAD Y LA  
JERARQUIZACIÓN DE ACTIVOS PARA LA INDUSTRIA  
CARBONIFERA DE SAMACA INCARSA S.A.S EN EL PROCESO DE  
LAVADO DE CARBON DE LA PLANTA SANTA MARIA.**

**YEYSON STEVEN OCHOA TAMAYO**

**UNIVERSIDAD PEDAGOGICA Y TECNOLOGICA DE COLOMBIA**

**FACULTAD SECCIONAL DUITAMA**

**ESCUELA DE INGENIERIA ELECTROMECHANICA**

**2022**

**IMPLEMENTACION DEL ANALISIS DE CRITICIDAD Y LA  
JERARQUIZACIÓN DE ACTIVOS PARA LA INDUSTRIA  
CARBONIFERA DE SAMACA INCARSA S.A.S EN EL PROCESO DE  
LAVADO DE CARBON DE LA PLANTA SANTA MARIA.**

**Trabajo presentado en modalidad de practica con proyección empresarial  
para optar el título de**

**INGENIERO ELECTROMÉCANICO**

**YEYSON STEVEN OCHOA TAMAYO**

**Director: MSc. ORLANDO DIAZ PARRA**

**Coordinador: ING JUAN DAVID ROBLES**

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA**

**FACULTAD SECCIONAL DUITAMA**

**ESCUELA DE INGENIERIA ELECTROMECHANICA**

**DUITAMA**

**2022**

**Nota de aceptación:**

---

---

---

---

---

---

**Firma de director del proyecto**

---

**Firma del jurado:**

---

**Firma del jurado:**

## DEDICATORIA

Este proyecto está dedicado a mi abuela, mi madre, mi padre, demás familiares y amigos que, gracias a sus valores, su constancia y presencia en mi vida me brindaron acompañamiento y guía en todas las adversidades que enfrente en mi proceso de formación.

Por último, a mi gato Orión, que me ha acompañado en un nuevo proceso, dándome la suficiente tranquilidad y estabilidad para mantenerme en el camino disfrutando siempre de su compañía.

Yeyson Steven Ochoa Tamayo

## AGRADECIMIENTOS

Inicialmente quiero agradecerle a mi madre, mi padre y mi abuela, sin ellos no había podido tener la oportunidad de afrontar y culminar esta excelente carrera.

A cada uno de los docentes de la ingeniería electromecánica, debido a que todos contribuyeron dentro del camino del aprendizaje en mi estancia en la universidad.

A la empresa INCARSA S.A.S. por permitirme aplicar mis conocimientos y brindarme la confianza para medirlos dentro del mejoramiento de sus gestiones de mantenimiento.

Al ingeniero Orlado Díaz Parra por brindarme el apoyo en este proyecto, guiarme dentro de los aspectos necesarios del mantenimiento para la creación del documento, y brindarme los conocimientos necesarios en la culminación de este proyecto.

Al ingeniero Juan David Robles de la empresa INCARSA S.A.S por otorgarme la oportunidad de adquirir conocimientos completamente diferentes, permitirme pertenecer al equipo de planeación de mantenimiento, por brindarme su orientación, asesoría y enseñanza, y sobre todo permitirme abrir puertas a nuevos retos y nuevas oportunidades laborales.

Al grupo de trabajadores de la planta lavadora Santa María y el equipo de planeación de mantenimiento de la empresa INCARSA S.A.S, por darme acompañamiento durante mi estancia allí, socavar las dudas y brindarme la asesoría necesaria y el apoyo para la creación de este documento.

# CONTENIDO

<b>INTRODUCCION</b> .....	<b>1</b>
<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>3</b>
OBJETIVO GENERAL.....	3
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
<b>GENERALIDADES</b> .....	<b>4</b>
1. GENERALIDADES DE LA EMPRESA. ....	4
1.1 NOMBRE DE LA EMPRESA. ....	4
1.2 LOCALIZACION Y VIAS DE ACCESO DE LA EMPRESA.....	4
1.3 HISTORIA .....	4
1.4 MISION .....	5
1.5 VISION .....	6
<b>2. MARCO TEORICO</b> .....	<b>7</b>
2.1 MANTENIMIENTO: .....	7
2.2 MANTENIMIENTO CORRECTIVO: .....	7
2.3 MANTENIMIENTO PREVENTIVO: .....	7
2.4 MANTENIMIENTO PREDICTIVO .....	7
2.5 MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD .....	8
2.5.1 Definición. ....	8
2.5.2 Desarrollo de la metodología. ....	9
2.6 PLANTA DE LAVADO. ....	9
2.7 SUBPROCESOS DEL LAVADO DE CARBON.....	9
2.7.1 Clasificación:.....	9
2.7.2 Reducción: .....	9
2.7.3 Clasificación interna: .....	10
2.7.4 Lavado de Carbón: .....	10
2.7.5 Secado de carbón: .....	10
2.8 ANÁLISIS DE CRITICIDAD: .....	10
2.8.1 Técnicas cualitativas .....	10
2.8.2 Técnicas Semi- cuantitativas.....	11
2.8.3 Técnicas Cuantitativas .....	11
2.8.4 Factor de criticidad .....	11
2.8.5 Consecuencia.....	12
2.8.5.1 Factor de frecuencia de fallas (F.F): .....	12
2.8.5.2 Factor de Impacto Operacional (I.O.) .....	12
2.8.5.3 Factor de Impacto por Flexibilidad Operacional (O.F.) .....	12

2.8.5.4	Factor de Impacto en Costes de Mantenimiento (C.M.)	13
2.8.5.5	Factor de Impacto en Seguridad, Salud e Higiene (SHA/SEI)	13
2.9	ANALISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMEF):	14
2.10	MODELOS MATEMATICOS DE CONFIABILIDAD, DISPONIBILIDAD Y MANTENIBILIDAD.	15
2.10.1	MTBF: Tiempo Medio Entre Fallas:	15
2.10.2	MTTR: Tiempo Medio de Reparación:	15
2.10.3	Disponibilidad:	15
2.10.4	Confiabilidad:	16
2.11	DIAGRAMA DE PARETO	16
<b>3.</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>18</b>
3.1	LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN TÉCNICA Y ORDENES DE TRABAJO:	18
3.1.1	Bandas transportadoras:	18
3.1.2	Cribas:	18
3.1.3	Tanques de almacenamiento.	20
3.1.4	Bombas hidráulicas y sumergibles.	20
3.1.5	Tolvas	21
3.1.6	Batería o banco de hidro-ciclones e hidro-ciclones.	22
3.1.7	Apilador radial telescópico.	22
3.1.8	Centrifugas.	23
3.1.9	Compresores.	24
3.1.10	Filtro prensas.	25
3.2	LEVANTAMIENTO DE ÓRDENES DE TRABAJO:	25
3.3	ACTUALIZACIÓN DEL DIAGRAMA DE PROCESOS.	27
3.4	FACTORES PARA LA MATRIZ DE CRITICIDAD:	29
3.4.1	Frecuencia de fallas (F.F)	29
3.4.2	Impacto operacional (OI).	32
3.4.3	Flexibilidad operacional (OF).	33
3.4.4	Factor de seguridad y medio ambiente (SEI).	35
3.4.5	Costos de mantenimiento (MC).	37
<b>4.</b>	<b>DETERMINACIÓN DEL VALOR DE CRITICIDAD</b>	<b>41</b>
<b>5.</b>	<b>CALCULO DE LA CONFIABILIDAD DE LOS EQUIPOS:</b>	<b>46</b>
<b>6.</b>	<b>ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD PARA LOS ACTIVOS:</b>	<b>49</b>
6.1	CENTRIFUGA SCHENK:	49
6.2	CRIBA DE LAVADO.	50
6.3	FILTRO PRENSA DE LAVADO.	52
6.4	BOMBA BLENDING	53

6.5 APILADOR RADIAL .....	54
6.6 BANDA 5.....	55
<b>7. IMPLEMENTACION DEL ANÁLISIS DE MODO Y EFECTOS DE FALLO (AMEF): .....</b>	<b>57</b>
7.1 GRADO DE SEVERIDAD: .....	57
7.2 GRADO DE OCURRENCIA: .....	57
7.3 GRADO DE DETECCION:.....	58
<b>8. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>60</b>
<b>9. CONCLUSIONES.....</b>	<b>61</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>62</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>63</b>



## LISTA DE FIGURAS E ILUSTRACIONES

<b>Figura 1.</b> Ubicación planta lavadora Santa Maria empresa INCARSA S.A.S .....	4
<b>Figura 2.</b> Proceso de mantenimiento centrado en confiabilidad. Mapa de proceso de lavado de carbon atualizado.....	8
<b>Figura 3.</b> Pasos propuestos adicionales para el cumplimiento del RCM. ....	9
<b>Figura 4.</b> Ejemplo de matriz de criticidad .....	13
<b>Figura 5.</b> Ejemplo de diagrama de Pareto .....	16
<b>Figura 6.</b> Banda transportadora .....	18
<b>Figura 7.</b> Criba Schenck .....	19
<b>Figura 8.</b> Tanque de almacenamiento para medios .....	19
<b>Figura 9.</b> Bombas tipo horizontal .....	20
<b>Figura 10.</b> Tolva de carga .....	21
<b>Figura 11.</b> Banco de Hidro-ciclones.....	22
<b>Figura 12.</b> Apilador radial .....	23
<b>Figura 13.</b> Centrifuga Schenck.....	24
<b>Figura 14.</b> Filtro-prensas .....	25
<b>Figura 15.</b> Diagrama de Proceso actualizado .....	27
<b>Ilustración 1.</b> Diagrama de Pareto para fallas de los activos en planta lavadora .....	31
<b>Ilustración 2.</b> Diagrama de Pareto para costes de mantenimiento .....	40
<b>Figura 16.</b> Matriz de criticidad .....	41

## LISTA DE TABLAS

<b>TABLA 1.</b> Lista de activos y equipos dentro de la planta lavadora. ....	26
<b>TABLA 2.</b> Clasificación y escala de frecuencia de fallos .....	28
<b>TABLA 3.</b> Tabulación de datos de frecuencia de fallos para los activos. ....	30
<b>TABLA 4.</b> Clasificación y escala (IO) Impacto Operacional. ....	32
<b>TABLA 5.</b> Tabulación de datos de impacto operacional para los activos.....	33
<b>TABLA 6.</b> Clasificación y escala (OF) Flexibilidad Operacional. ....	34
<b>TABLA 7.</b> Tabulación de datos de flexibilidad operativa para los activos.....	35
<b>TABLA 8.</b> Clasificación y escala (SEI) Factor de impacto en la seguridad y medio ambiente. ....	35
<b>TABLA 9.</b> Tabulación de datos de flexibilidad operativa para los activos. ....	37
<b>TABLA 10.</b> Costos de mantenimiento de los equipos ordenados de mayor a menor.....	37
<b>TABLA 11.</b> Clasificación y escala (MC) costes de mantenimiento .....	37
<b>TABLA 12.</b> Tabulacion de costes de mantenimiento .....	39
<b>TABLA 13.</b> Clasificación Riesgo y Criticidad .....	41
<b>TABLA 14.</b> Tabulación de Criticidad de los activos: .....	43
<b>TABLA 15.</b> Jerarquización de los equipo.....	45
<b>TABLA 16.</b> Activos Críticos que se realizara su respectivo AMEF y estudio de confiabilidad.....	45
<b>TABLA 17.</b> Tabulación de confiabilidad de los equipos. ....	47
<b>TABLA 18.</b> Tabulación de fallos de la centrifuga Schenk. ....	49
<b>TABLA 19.</b> Causas raíz de los fallos de la centrifuga Schenk.....	49
<b>TABLA 20.</b> Disponibilidad y confiabilidad de la centrifuga Schenk. ....	49
<b>TABLA 21.</b> Tabulación de fallos de la criba de lavado. ....	50
<b>TABLA 22.</b> Causas raíz de los fallos de la criba de lavado .....	50
<b>TABLA 23.</b> Disponibilidad y confiabilidad de criba de lavado. ....	51
<b>TABLA 24.</b> Tabulación de fallos del filtro prensa de lavado.....	51
<b>TABLA 25.</b> Causas raíz de los fallos del filtro prensa de lavado. ....	51
<b>TABLA 26.</b> Disponibilidad y confiabilidad del filtro prensa de lavado.: .....	52
<b>TABLA 27.</b> Tabulación de fallos de la bomba de blending. ....	52
<b>TABLA 28.</b> Causas raíz de los fallos de la bomba de blending. ....	52
<b>TABLA 29.</b> Disponibilidad y confiabilidad de la bomba de blending.....	53
<b>TABLA 30.</b> Tabulación de fallos del apilador radial.. ....	53
<b>TABLA 31.</b> Causas raíz de los fallos del apilador radial. ....	53
<b>TABLA 32.</b> Disponibilidad y confiabilidad del apilador radial. ....	54
<b>TABLA 33.</b> Tabulación de fallos del apilador radial.. ....	54
<b>TABLA 34.</b> Causas raíz de los fallos del apilador radial.. ....	54

<b>TABLA 35.</b> Disponibilidad y confiabilidad del apilador radial. ....	55
<b>TABLA 36.</b> Comparación confiabilidad de fallos vs confiabilidad por horas de trabajo. ....	55
<b>TABLA 37.</b> Tabla de rangos para determinar el grado de severidad de una falla.....	56
<b>TABLA 38.</b> Tabla de rangos para determinar el grado de ocurrencia de una falla.. ....	56
<b>TABLA 39.</b> Tabla de rangos para determinar el grado de detección de una falla.....	57

## LISTA DE ECUACIONES

<b>ECUACION 1.</b> Ecuacion de la criticidad total por riesgo .....	11
<b>ECUACION 2.</b> Ecuacion de la consecuencia de los eventos de fallos.....	12
<b>ECUACION 3.</b> Ecuacion de tiempo medio entre fallas.....	15
<b>ECUACION 4.</b> Ecuacion de tiempo medio para reparar.....	15
<b>ECUACION 5.</b> Ecuacion de disponibilidad.....	16
<b>ECUACION 6.</b> Ecuacion de confiabilidad.....	16
<b>ECUACION 7.</b> Ecuacion de la razon del tempo para la probabilidad de la confiabilidad. ....	46

## RESUMEN

El presente documento expone el desarrollo y resultado final de la jerarquización de los activos de la planta lavadora y el análisis de efectos de fallo de los equipos más críticos, dentro del proceso de lavado de carbón, basado en la técnica de Jerarquización de activos MCCR: Matriz de Criticidad Cualitativa de Riesgo y el Análisis de Modos y Efectos de Falla AMEF.

La planta lavadora tiene como objetivo, limpiar, homogeneizar y preparar la materia prima (carbón) de forma eficiente y rentable, para finalmente ser enviado al proceso de coquización y su posterior comercialización.

Dentro de la planta se encuentran máquinas y activos, compuestos por sistemas neumáticos, hidráulicos, mecánicos, eléctricos y electrónicos, los cuales están encargados de separar, cribar, distribuir, mezclar, limpiar, rehusar y secar la materia prima, con la mejor operatividad y disponibilidad dentro del proceso misional de beneficio del carbón.

De manera que se indagó sobre el método factible para jerarquizar los activos dentro de la planta y clasificar las fallas por prioridad del riesgo de estos. Lo anterior se constituyó en un insumo para la toma de decisiones, la gestión de los recursos y el cumplimiento de los indicadores de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad dentro de la empresa.

**PALABRAS CLAVE:** Jerarquización mantenimiento, mantenibilidad, disponibilidad, confiabilidad, modos de falla, efectos de falla, matriz de criticidad cualitativa de riesgo, prioridad de riesgo.

## INTRODUCCION

La rentabilidad de los procesos es apreciable por la operatividad, la productividad y la eficiencia de las máquinas que constituyen las diferentes fases que caracterizan al procedimiento dentro de la industria. Es por esto que el mantenimiento de la maquinaria y la gestión de éste, toman un rol importante dentro de la industria reforzando la competitividad, mejorando la calidad y, garantizando la sostenibilidad de la empresa.

En el proceso de beneficio de carbón mineral es importante la etapa de lavado, en la cual se hace un tratamiento de la materia prima mediante la separación de los elementos no deseados tales como roca, componentes pesados o metálicos, azufre entre otros. A su vez, es responsable de adecuar los niveles de ceniza, garantizando la calidad del producto para su respectiva preparación y posterior coquización de acuerdo a los estándares establecidos por la directiva de producción y calidad.

La empresa INCARSA S.A.S tiene como objetivo principal la explotación, preparación, coquización y exportación de carbón metalúrgico de la mejor calidad. Es por esto que cuenta con plantas destinadas para cada uno de los procesos anteriormente mencionados, del cual, la planta lavadora corresponde a casi por completo el trabajo de preparación y beneficio del carbón. Esta planta presenta constantes paradas de producción debido a fallas en los equipos, debido a factores como: las arduas horas de trabajo, la polución en el medio ambiente, el estado de los equipos y el tiempo de antigüedad de algunas de las máquinas.

Debido a los diferentes cambios en la producción, las condiciones de trabajo, la baja trazabilidad en tiempo real, el incremento de fallos y las salidas constantes de operatividad de los equipos dentro de la planta lavadora, la empresa buscó la manera de disminuir dichas falencias mediante la implementación de la jerarquización de los activos y el desarrollo de análisis de modos y efectos de fallo. Se utilizará como referencia la metodología expuesta en el libro *"MANTENIMIENTO INDUSTRIAL: CONCEPCTOS Y ESTRATEGIAS* de Luis Alfonso Jiménez Rodríguez".

Principalmente se reconoció el proceso de lavado de carbón, los activos, sus funciones y las fallas que estos presentaban. Después de esto se recopiló información acerca de los tipos de falla y el mantenimiento realizado dentro de la planta, y se actualizó el diagrama de procesos con dicha información, para realizar el procedimiento en tiempo real.

Se seleccionó la metodología necesaria para realizar el análisis de criticidad, se jerarquizaron los activos dependiendo del riesgo y la cantidad de paradas, se obtuvieron los índices de confiabilidad y disponibilidad de los equipos más críticos.

Por último, se procedió a establecer los análisis de modos y efectos de falla de los equipos críticos, el cual determinaría la severidad de las fallas de dichos elementos permitiendo jerarquizarlas, para así denotar las acciones preventivas, predictivas y correctivas implementadas en el sistema que disminuyan dichos efectos.

# OBJETIVOS

## OBJETIVO GENERAL

Realizar un análisis de criticidad de activos del proceso de lavado de carbón para la priorización de las actividades de mantenimiento mediante la jerarquización de la maquinaria y equipos en la planta lavadora de Santa María, de la empresa INCARSA S.A.S.

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar el levantamiento de la información técnica y ordenes de trabajo de las máquinas, equipos o activos dentro de la planta lavadora y actualizar el diagrama de proceso de la planta, para poder reconocer los componentes, la frecuencia, severidad, consecuencias de las fallas, y los insumos implementados en la corrección de estas, así como la operatividad de los equipos dentro de la planta.
- Evaluar los factores que definen la criticidad de los equipos, para seleccionar el método que se adapte a los elementos limitadores del análisis y lograr el cálculo de la matriz de criticidad.
- Generar la jerarquización de los activos, maquinas o equipos, que influyan en el proceso de lavado de carbón y un análisis de modo y efecto de falla (AMEF), para establecer las bases requeridas que en un futuro se utilizará para implementar el mantenimiento basado en confiabilidad (RCM) para los activos más críticos y posteriormente para otros procesos dentro de la empresa.



# 1. GENERALIDADES

## 1.1 GENERALIDADES DE LA EMPRESA.

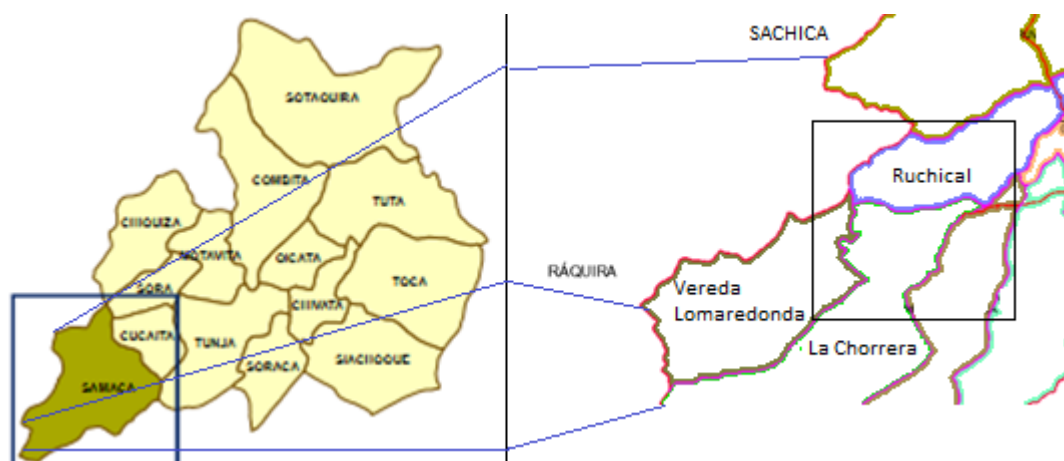
NOMBRE DE LA EMPRESA.

INDUSTRIA CARBONIFERA DE SAMACÁ S.A.S – INCARSA.S.A.S.  
NIT: 830.078.829-5.  
PLANTA LAVADORA SANTA MARIA.

## 1.2 LOCALIZACION Y VIAS DE ACCESO DE LA EMPRESA

La planta lavadora “Santa María” perteneciente a la empresa INCARSA S.A.S está ubicada en la vereda loma redonda a 11.5km (vía Samacá-Guachetá) de la cabecera del municipio de Samacá, departamento de Boyacá. Está enmarcada dentro de la concesión.

**Figura 1.** Ubicación Planta Lavadora Santa María empresa INCARSA S.A.S.



*Fuente: Secretaria de planeación de Boyacá. – ASIS Samacá.*

## 1.3 HISTORIA<sup>1</sup>

A finales de 1889 se dio inicio a la explotación minera de carbón metalúrgico gracias a la labor de los antepasados de los actuales socios de C.I. MILPA S.A. (PRIMERA GENERACIÓN), así como otras familias, quienes vendían el carbón extraído de las minas ubicada en el municipio de Samacá, a la primera siderúrgica de Colombia, “Ferrería de Samacá”, fundada en la década de 1850 por los técnicos ingleses Martin Perry y Santiago Bruce e impulsada por José Eusebio Otálora, hoy patrimonio arquitectónico de Boyacá; la cual cerró sus instalaciones en 1884 debido a dificultades financieras y posteriormente a raíz

<sup>1</sup> CI MILPA S.A. [en línea]. Historia INCARSA S.A.S aliados. Disponible en internet. «milpa.com.co/historia.html»

de que a principios de 1900 se rompió una represa en la parte alta que arrasó con todo el complejo industrial que existía.

Años después, nace la primera textilera del país, “Textiles Samacá” (1889-1964), de origen inglés, abriendo paso a la industrialización en Colombia; en la cual se producía la famosa “manta Samacá”, que se catalogaba dentro de las mejores telas de la época. Con motivo de este segundo desarrollo industrial, se instala en Samacá la primera termoeléctrica que funcionaba a base de carbón, convirtiéndose en “Electrificadora de Boyacá”. Esta suministraba la energía para la textilera y el remanente para el alumbrado de la ciudad de Tunja. Gracias a lo anterior, se continúa con la producción de carbón con la SEGUNDA GENERACIÓN de lo que es hoy C.I. MILPA S.A. y con esta, la producción de coque colombiano.

Posteriormente, en la década de los 50, por iniciativa del gobierno colombiano, nace la “Empresa Siderúrgica Nacional de Paz del Río”, posteriormente “Acerías Paz del Río S. A.”, con lo que se inicia la explotación de minas de hierro y se continúa con la explotación de minas de Carbón en Boyacá y en consecuencia la industria de coquización del carbón en Samacá, apareciendo la **TERCERA GENERACIÓN de C.I. MILPA S.A.**

En el año 1983, después de años de arduo trabajo, se constituye “INVERSIONES MILPA LTDA”, hoy “COMERCIALIZADORA INTERNACIONAL MILPA S. A.” (CUARTA GENERACION). En 1991 y sin tener una infraestructura adecuada, MILPA por primera vez logra incursionar en el mercado internacional, a tal punto que le fue otorgada la medalla de oro a la calidad al carbón y al coque colombiano producido por MILPA en una feria internacional, lo que a su vez permitió la incursión en 25 nuevos países, entre los que se cuentan Brasil, Argentina, India, USA, Alemania, Italia, entre otros.

En el año 2000 se creó la Industria Carbonífera de Samacá S.A.S «INCARSA S.A.S», cuyo objetivo principal es el desarrollo de las distintas actividades relacionadas con la explotación de carbón metalúrgico y su procesamiento en las diferentes plantas de lavado y producción de coque. Hoy su operación se centra en los departamentos de Boyacá y Cundinamarca, epicentro del país en producción de carbón y coque metalúrgico.

#### 1.4 MISION<sup>2</sup>

Dedicar toda la capacidad de nuestro talento humano a la explotación del carbón metalúrgico en minería subterránea y al procesamiento del mismo para la producción de coque siderúrgico de la más alta calidad en Colombia y una de las mejores a nivel mundial con diferentes composiciones químicas y granulométricas, cumpliendo siempre con los más altos estándares de calidad y velando de manera continua por la seguridad integral de nuestros colaboradores, el entorno social y ambiental.

---

<sup>2</sup> C.I. MILPA S.A. [en línea]. Misión INCARSA S.A.S aliados. Disponible en internet. «milpa.com.co/historia.html»

### 1.5 VISION<sup>3</sup>

Ser la empresa más productiva, mejor tecnificada y de mayor reconocimiento como prestadora de servicios para la industria carbonífera de minería subterránea y de producción de coque del país, por los productos de óptima calidad, por la seguridad integral en el desarrollo de sus procesos operativos y administrativos, y por la excelencia en la atención de sus clientes.

---

<sup>3</sup> C.I. MILPA S.A. [en línea]. Visión INCARSA S.A.S aliados. Disponible en internet. «[milpa.com.co/historia.html](http://milpa.com.co/historia.html)»

## 2. MARCO TEORICO

En el siguiente capítulo se abordarán los temas y equipos mencionados a lo largo del desarrollo del documento, facilitando la comprensión del lector.

### 2.1 MANTENIMIENTO<sup>4</sup>:

Se define como el conjunto de actividades que intentan compensar la degradación causada por el tiempo y el uso en equipos e instalaciones. Los departamentos de mantenimiento, teniendo en cuenta esta definición, intentan asegurar cuatro objetivos básicos: disponibilidad, fiabilidad, vida útil y coste.

### 2.2 MANTENIMIENTO CORRECTIVO<sup>5</sup>:

Es cualquier operación u orden de trabajo informada por el personal de operación, realizada para restituir la maquinaria, las instalaciones o cualquier activo, a un estado de funcionamiento óptimo. En resumen, la falla es identificada, separada y reparada.

### 2.3 MANTENIMIENTO PREVENTIVO<sup>6</sup>:

Es la acción de revisar de manera sistemática y bajo ciertos criterios a los equipos o aparatos de cualquier tipo (mecánico, eléctrico, hidráulico, informático) para evitar averías ocasionadas por uso, desgaste o el paso del tiempo, se adelanta a las averías antes de que ocurran o hace que sean menos graves, por lo que disminuye el gasto en reparaciones y el tiempo en el que los equipos dejan de estar operativos debido a las mismas.

### 2.4 MANTENIMIENTO PREDICTIVO<sup>7</sup>:

Es el conjunto de técnicas instrumentadas para medir y analizar variables con el fin de caracterizar en términos posibles fallos a las condiciones de funcionamiento de los equipos de producción. Su misión principal es optimizar la fiabilidad y disponibilidad de los equipos a un coste bajo.

---

<sup>4</sup> Todo acerca del mundo del mantenimiento. Disponible en internet «<https://mantenimiento.win/>»

<sup>5</sup> Mantenimiento correctivo: Qué es y donde se aplica. Disponible en internet «<https://www.cursosaula21.com/que-es-el-mantenimiento-correctivo/>»

<sup>6</sup> Mantenimiento preventivo: Que es, tipos y como hacerlo eficazmente. Disponible en internet «<https://www.stelorder.com/blog/mantenimiento-preventivo/>»

<sup>7</sup> Todo acerca del mundo del mantenimiento. Disponible en internet «<https://mantenimiento.win/mantenimiento-predictivo/>»

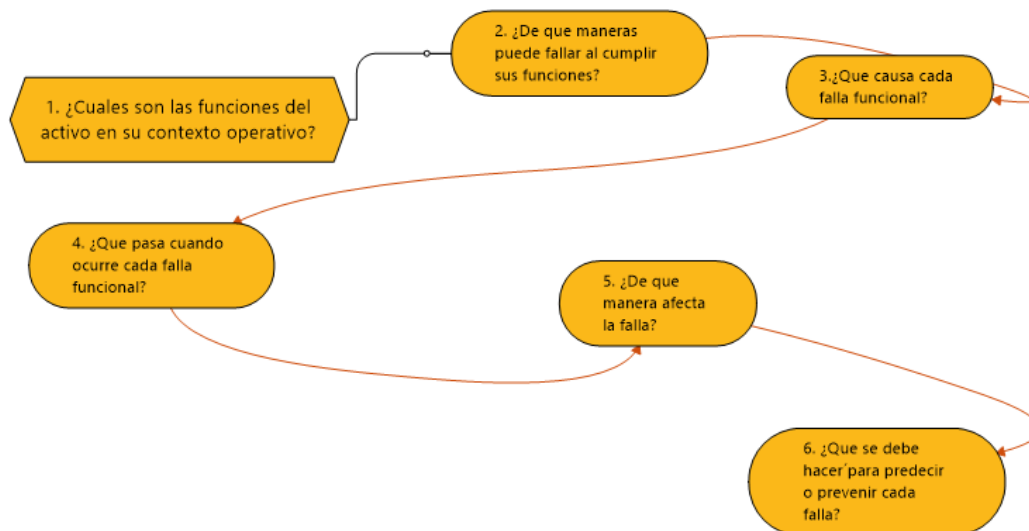
## 2.5 MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD<sup>8</sup>:

### 2.5.1 Definición.

El mantenimiento centrado en confiabilidad o 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 (preventivo, predictivo, búsqueda de fallas, etc.). Esta metodología fue desarrollada inicialmente por la industria comercial de aviación de los Estados Unidos para mejorar la seguridad y confiabilidad de sus equipos, definido como el proceso que determina las actividades que se deben realizar para asegurar que cualquier activo de la planta mantenga su funcionalidad operacional según los criterios propios de los usuarios.

La normatividad técnica para la aplicación de un RCM establece los criterios mínimos que debe cumplirse dentro de la metodología, mediante el aseguramiento satisfactorio de una secuencia de preguntas mostradas en la siguiente figura:

**Figura 2.** Proceso de mantenimiento centrado en confiabilidad.



*Fuente: Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, base de datos y criticidad de efectos.*

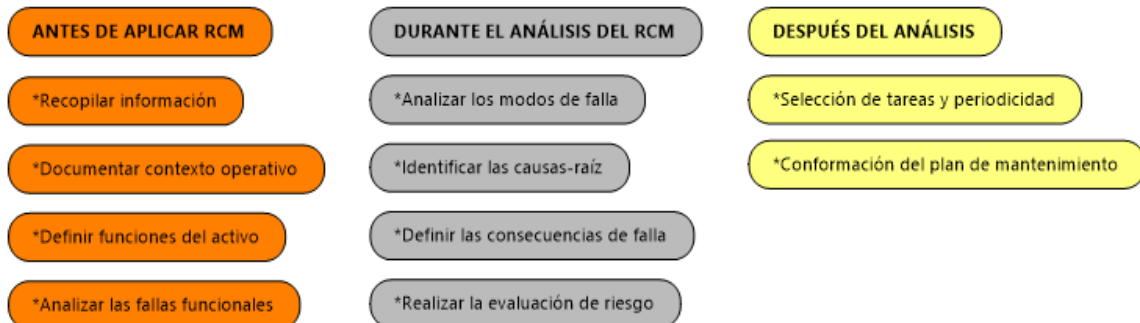
Cabe aclarar que el modo de falla se define como un evento único que causa una falla funcional (causa primaria de falla) y lo diferencia de la causa-raíz (falla fundamental).

<sup>8</sup> Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, base de datos y criticidad de efectos. Disponible en internet. «<https://www.redalyc.org/journal/614/61458265006/html/>»

## 2.5.2 Desarrollo de la metodología.

Se debe realizar una serie de pasos adicionales a las preguntas anteriormente planteadas para lograr el cumplimiento, el éxito y la efectividad del RCM, divididos en 3 (tres) etapas mostradas a continuación.

**Figura 3.** Pasos propuestos adicionales para el cumplimiento del RCM.



*Fuente: ROMERO A. JOLIANIS L. Plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) para el sistema Eléctrico de Baja Tensión que suministra energía a los pozos productores pertenecientes a la superintendencia de operaciones de Mares.*

## 2.6 PLANTA DE LAVADO.

La planta de lavado consta de 5 (cinco) subprocesos para cumplir con su determinada función, clasificación, reducción, clasificación interna, lavado y secado de carbón donde todo el proceso se divide en otros 3 subprocesos, el lavado de finos, lavado de ultra finos y el de lavado de gruesos, los cuales están distribuidos dependiendo de su granulometría y el tipo de carbón que entra a la planta.

## 2.7 SUBPROCESOS DEL LAVADO DE CARBÓN.

### 2.7.1 Clasificación:

Se encarga de dividir los tipos de carbón que ingresan a la planta los cuales pueden ser: (bajo volátil, medio volátil, alto volátil, dinos de coque, antracita, semi-antracita, manto L, etc...) los cuales corresponden a las necesidades de producción de la planta y al tipo de servicio que ofrezca la planta y distribuirlos hacia la planta por medio de tolvas de dosificación y bandas transportadoras.

### 2.7.2 Reducción:

Es el proceso encargado de homogeneizar la entrada de carbón a la planta, mediante la aceptación de carbón que no exceda un tamaño de granulometría de 50 mm, el carbón que excede este tamaño, es enviado al molino triturador y realimentado de nuevo por medio de la banda transportadora.

### 2.7.3 Clasificación interna:

Es el proceso encargado de separar el carbón que entra en la planta hacia los subprocesos de lavado de carbón, mediante el cribado de este por medio de diferentes aberturas de las mallas.

### 2.7.4 Lavado de Carbón:

Es el transcurso de la separación de los materiales indeseables dentro del producto que, mediante la implementación de agua, adición de componentes químicos, y maquinas como hidro-ciclones, tanques, espirales, paletas, cribas y bombas hidráulicas, se encarga de retirar elementos mencionados anteriormente denominados (extraños o inertes) del carbón y prepararlo para posterior coquización.

2.7.4.1 Lavado de gruesos: (Granulometría desde 10mm-0.25mm).

2.7.4.2 Lavado de finos: (Granulometría desde 10mm-0.25mm).

2.7.4.3 Lavado de ultra finos: (Granulometría por debajo de 0.25mm).

### 2.7.5 Secado de carbón:

Es el proceso que mediante el uso de centrifugas y filtro-prensas se encarga de eliminar el exceso de agua del producto, para su posterior coquización.

## 2.8 ANÁLISIS DE CRITICIDAD<sup>9</sup>:

Es una metodología que permite jerarquizar sistemas, instalaciones y equipos, en función de su impacto global, con el fin de facilitar la toma de decisiones. Para realizar un análisis de criticidad se debe: definir un alcance y propósito para el análisis, establecer los criterios de evaluación y seleccionar un método de evaluación para jerarquizar la selección de los sistemas objeto del análisis.

### 2.8.1 Técnicas cualitativas <sup>10</sup>:

Se sustentan en razonamiento de naturaleza cualitativa, en el cual la estimación de la probabilidad de ocurrencia de los eventos (consecuencias) se realiza utilizando una escala relativa donde no se establecen rangos numéricos explícitos.

---

<sup>9</sup> El análisis de criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad. Disponible en internet. «<https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/el-analisis-de-criticidad-una-metodologia-para-mejorar-la-confiabilidad-ope>»

<sup>10</sup> El análisis de criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad. Disponible en internet. «<https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/el-analisis-de-criticidad-una-metodologia-para-mejorar-la-confiabilidad-ope>»

### 2.8.2 Técnicas Semi- cuantitativas<sup>11</sup>:

Son técnicas “blandas”, de fácil manejo y comprensión, cuya mayor virtud es la de proveer un valor de criticidad, proporcional al riesgo, que permite jerarquizar opciones para tomar una decisión. Provee un indicador, proporcional al riesgo, que se conoce como “criticidad”. El mencionado indicador permite jerarquizar opciones para tomar una decisión, los valores de criticidad no pueden considerarse “valores absolutos” de riesgo y por ende no son los más adecuados para evaluar la tolerabilidad del riesgo.

### 2.8.3 Técnicas Cuantitativas<sup>12</sup>:

Permiten un dimensionamiento más objetivo del riesgo, para juzgar sobre bases más sólidas su “TOLERABILIDAD” y gerencial de manera óptima. Siendo técnicas más complejas que las técnicas cualitativas y semi-cuantitativas requieren de un mayor tiempo para su implementación. Estas permiten análisis detallados y normalmente se realizan en aquellas instalaciones o propuestas que se hayan identificado como de alto riesgo en un análisis cualitativo o semi-cuantitativo previo.

Para la jerarquización de los activos se implementará un análisis de criticidad cualitativa de riesgo MCCR<sup>13</sup>. El cual deriva de la propuesta de jerarquización basadas en técnicas de riesgo desarrolladas por el MGM (Modelos de Gestión de Mantenimiento).

### 2.8.4 Factor de criticidad:

Resultado de un evento donde puede existir una o más consecuencias de dicho evento, las cuales serán expresadas.

Desde el punto de vista matemático la criticidad se puede expresar como:

$$CTR = FF \times C \text{ Ecuacion 1.}^{14}$$

- CTR: Criticidad total por riesgo.
- FF: Frecuencia de Falla.
- C. Consecuencia de los eventos de fallos.

---

<sup>11</sup> El análisis de criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad. Disponible en internet. «<https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/el-analisis-de-criticidad-una-metodologia-para-mejorar-la-confiabilidad-ope>»

<sup>12</sup> El análisis de criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad. Disponible en internet. «<https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/el-analisis-de-criticidad-una-metodologia-para-mejorar-la-confiabilidad-ope>»

<sup>13</sup>Técnica de jerarquización de activos MCCR: Matriz de Criticidad Cualitativa de Riesgo. Caso de Estudio: Unidad de Craqueo Catalítico. Disponible en internet «<https://www.researchgate.net/publication/348907968>»

<sup>14</sup> Técnica de jerarquización de activos MCCR: Matriz de Criticidad Cualitativa de Riesgo. Caso de Estudio: Unidad de Craqueo Catalítico. Disponible en internet «<https://www.researchgate.net/publication/348907968>»



### 2.8.5 Consecuencia:

Es el factor general de consecuencias de fallo. Donde el valor de las consecuencias (C) se obtiene a partir de la siguiente expresión.

$$C = (IO \times FO) + CM + SHA \text{ Ecuacion 2.}^{15}$$

Donde:

- IO: Factor de impacto en la producción.
- FO: Factor de flexibilidad operacional.
- CM: Factor de Costes de Mantenimiento.
- SHA: Factor de impacto en seguridad, higiene y ambiente.

#### 2.8.5.1 Factor de frecuencia de fallas (F.F):

Determina el valor ponderado de fallas de un activo o equipo, midiendo la cantidad de salidas del sistema de este, en su mayoría por las fallas inesperadas presentadas dentro de la operatividad de la planta.

4: <i>Pobre:</i>	<i>mayor a 4 eventos por mes.</i>
3: <i>Promedio:</i>	<i>3 – 4 eventos por mes.</i>
2: <i>Bueno:</i>	<i>1 – 2 eventos por mes.</i>
1: <i>Excelente:</i>	<i>menos de 1 evento por mes.</i>

#### 2.8.5.2 Factor de Impacto Operacional (I.O.)

Evalúa la consecuencia que implica la salida de un equipo de su respectivo funcionamiento, en el proceso o los subprocesos del lavado de carbón.

10: <i>Extremadamente alto:</i>	<i>Pérdida total de producción.</i>
8: <i>Alto:</i>	<i>Pérdida de producción de un proceso importante.</i>
5: <i>Medio:</i>	<i>Perdida parcial de un proceso de producción.</i>
3: <i>Bajo:</i>	<i>Perdidas menores de un proceso.</i>
1: <i>Sin impacto:</i>	<i>No genera ningún impacto en el proceso.</i>

#### 2.8.5.3 Factor de Impacto por Flexibilidad Operacional (O.F.)

Valora las condiciones de disponibilidad de un activo al ocurrir una falla, midiendo la disponibilidad y la inmediatez para que este sea reemplazado de manera directa por otro que cumpla la misma función dentro de la planta.

---

<sup>15</sup> Técnica de jerarquización de activos MCCR: Matriz de Criticidad Cualitativa de Riesgo. Caso de Estudio: Unidad de Craqueo Catalítico. Disponible en internet «<https://www.researchgate.net/publication/348907968>»

- 4: Sin respaldo ni procedimiento operacional alternativo.
- 2: Cuenta con función de respaldo compartido.
- 1: Cuenta con función de respaldo disponible.

2.8.5.4 Factor de Impacto en Costes de Mantenimiento (C.M.)

Tasa los valores que implica el mantenimiento de los activos, de acuerdo a los costes establecidos dentro del sistema.

- 2: Costes de reparación, materiales y mano de obra superiores a \$4'000.000 (4 millones de pesos).
- 1: Costes de reparación, materiales y mano de obra inferiores a \$4'000.000 (4 millones de pesos).

2.8.5.5 Factor de Impacto en Seguridad, Salud e Higiene (SHA/SEI)

Estima los valores del impacto ambiental, la seguridad física de la planta y los operadores, que se genera al ocurrir una falla de los activos dentro de la planta.

- 8: Impacto ambiental catastrófico / pérdidas de vida muerte.
- 6: Impacto ambiental irreversible / daño físico e importante a las personas.
- 3: Impacto ambiental reversible / daños físicos menores.
- 1: No hay afectación en humanos, el medio ambiente o las instalaciones.

Determinados los valores de consecuencias y fallas respectivamente, podemos definir la matriz de criticidad representada en la figura 4.

**Figura 4.** Ejemplo de matriz de criticidad.



Fuente: SAE, International JA1012, A guide to the reliability-Centered Maintenance (RCM) Estandard. Agust 2002-01<sup>16</sup>.

<sup>16</sup> Análisis de criticidad y estudio RCM del equipo de máxima criticidad de una planta desmontadora de algodón. Disponible en internet «<https://pdfslide.net/documents/5-analisis-de-criticidad.html>»

El eje vertical determina el valor de frecuencia de fallas dentro del periodo a evaluar, y el eje horizontal representa las consecuencias de los eventos de falla de las respectivas maquinas.

## 2.9 ANALISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMEF) <sup>17</sup>:

Es una técnica implementada para el análisis de riesgos, mediante el análisis rutinario de situaciones y la minimización de los posibles riesgos dentro de la empresa, el proceso, el sistema o el diseño. Este es un método efectivo donde identifica oportunidades para las deficiencias y defectos que pueden conducir a la insatisfacción del cliente.

Para la implementación del AMEF es necesario:

- Tener a disposición planos, esquemas, catálogos e información pertinentes de los equipos además de las experiencias del talento humano de mantenimiento, calidad y producción.
- Seleccionar los componentes fundamentales del equipo y determinar su función.
- Establecer como pueden fallar cada uno de los componentes seleccionados.
- Determinar cuáles son las causas por las cuales se produce la falla.
- Deducir cuales serían las consecuencias del fallo componente.
- Calificar de acuerdo a las reglas de Severidad, Ocurrencia y Detección.
- Calcular el índice de prioridad de riesgo IPR o número de prioridad de riesgo NPR.
- Realizar el formato de AMEF para equipo.

Dentro del análisis de modo y efecto de falla se verifican las siguientes particularidades: sistema a evaluar:

- Función del sistema
- Modos y efectos de falla.
- Gravedad.
- Posibles causas de la falla.
- Frecuencia con la que ocurre esta falla.
- Posibles controles preventivos.
- Nivel de detección.
- El valor de prioridad NPR o IPR.

Este último determina dentro de la maquina el grado del efecto de la falla, que será por así decirlo la falla con mayor impacto dentro del equipo, debido a su gravedad o severidad, frecuencia de aparición y el grado de detección, y a la cual se le destinaran los recursos necesarios para mitigarla, eliminarla o disminuirla, y evitar así las fallas de mayor riesgo para las maquinas más críticas.

---

<sup>17</sup> JIMENEZ RODRIGUEZ LUIS ALFONSO. [Libro] EL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL: CONCEPTOS Y ESTRATEGIAS. Análisis de modos y efectos de falla (AMEF) Pág. 69. 2021

## 2.10 MODELOS MATEMATICOS DE CONFIABILIDAD, DISPONIBILIDAD Y MANTENIBILIDAD.

### 2.10.1 MTBF: Tiempo Medio Entre Fallas<sup>18</sup>:

Mean time between Failures (MTBF) es el tiempo medio entre las averías de una máquina, una métrica importante donde la tasa de indisponibilidad de los activos debe ser gestionada.

En otras palabras, el MTBF es el tiempo medio cuando el equipo funciona correctamente entre los fallos. Siendo este un indicador de rendimiento importante para los activos críticos, este se puede calcular de la siguiente manera:

$$MTBF = \frac{\text{tiempo total disponible} - \text{tiempo de inactividad}}{\text{numero de fallas}} \text{ Ecuacion 3.}$$

### 2.10.2 MTTR: Tiempo Medio de Reparación<sup>19</sup>:

Mean Time to Repair (MTTR) o tiempo medio de reparación, es una de las métricas comúnmente empleadas por los gestores de mantenimiento. Este representa el tiempo medio necesario para resolver fallos y reparar el activo que sufrió alguna avería, devolviéndole las condiciones normales de su funcionamiento. Este tiempo está contemplado entre la ocurrencia del incidente y la puesta en marcha de nuevo del equipo.

Se calcula mediante el resultado del tiempo total de mantenimiento correctivo del activo y se divide por el número de reparaciones, contemplados en un periodo de tiempo, y se describe de la siguiente manera.

$$MTTR = \frac{\text{tiempo total de mantenimiento}}{\text{numero de fallas}} \text{ Ecuacion 4.}$$

### 2.10.3 Disponibilidad<sup>20</sup>:

Es la cualidad de un activo o componente de estar en un estado óptimo para realizar una función requerida bajo las condiciones dadas por el usuario en un instante o un periodo de tiempo determinado.

Se puede determinar de la siguiente manera:

$$D(t) = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \text{ Ecuacion 5.}$$

Donde:

---

<sup>18</sup> QUE SON MTTR Y MTBF. Disponible en internet «<https://valuekeep.com/es/recursos/mtrr-y-mtbf/>»

<sup>19</sup> QUE SON MTTR Y MTBF. Disponible en internet «<https://valuekeep.com/es/recursos/mtrr-y-mtbf/>»

<sup>20</sup> JIMENEZ RODRIGUEZ LUIS ALFONSO. [Libro] EL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL: CONCEPTOS Y ESTRATEGIAS. Modelos matemáticos de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad Pág. 66. 2021.

- MTBF=Tiempo medio entre averías.
- MTTR=Tiempo medio de reparación.

#### 2.10.4 Confiabilidad<sup>21</sup>:

Es la probabilidad de que un activo o componente lleve a cabo su función en forma correcta y no presente falla durante un periodo de tiempo, bajo condiciones operacionales previamente definidas por el fabricante (manual del equipo, catalogo o recomendaciones escritas).

La ecuación para representar la confiabilidad es:

$$R(t) = e^{-\frac{1}{MTBF} * t} \text{ Ecuacion 6.}$$

Donde:

- R = confiabilidad expresada en porcentaje.
- e = constante universal equivalente a 2.718281.
- t= Tiempo del ciclo.
- MTBF = Tiempo medio entre fallas.

#### 2.11 DIAGRAMA DE PARETO<sup>22</sup>

El diagrama de Pareto ayuda a priorizar las acciones necesarias para conseguir los resultados obtenidos, el cual ayuda a clasificar gráficamente la información de mayor a menos importante con el fin de identificar los problemas más importantes que hay que abordar y resolver.

Esta técnica se basa en el principio de Pareto o la regla del 80/20, la cual se entiende que el 80% de los efectos se deben al 20% de las causas.

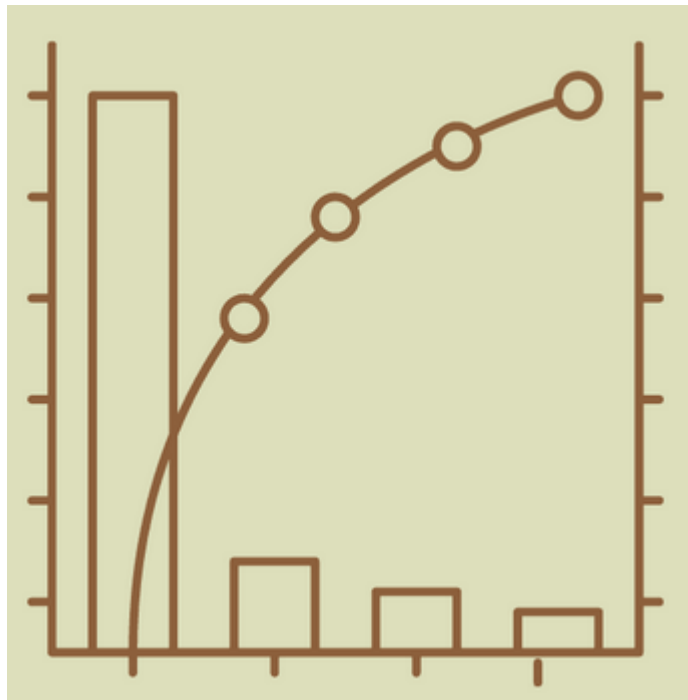
El diagrama también puede usarse para:

- Analizar los diferentes productos y servicios ofrecidos para mejorar su calidad
- Considerar la producción de productos, bienes o servicios en términos de tiempo y cantidad.
- Identificar que productos generan más ventas y cuáles no.
- Búsqueda de mejora constante
- Identificar los problemas y priorizar la solución de estos.

<sup>21</sup> JIMENEZ RODRIGUEZ LUIS ALFONSO. [Libro] EL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL: CONCEPTOS Y ESTRATEGIAS. Modelos matemáticos de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad Pág. 64. 2021.

<sup>22</sup> Diagrama de Pareto. Disponible en internet. «<https://www.gerencie.com/diagrama-de-pareto.html>»

**Figura 5.** Ejemplo de diagrama de Pareto.



Fuente: Origen del diagrama de Pareto. En línea [Gerencie.com]  
«<https://www.gerencie.com/diagrama-de-pareto.html>»

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN TÉCNICA Y ORDENES DE TRABAJO:

Las ordenes de trabajo constan de procedimientos de mantenimiento, generalmente correctivo o no rutinarios, que se realizan a los activos, elementos, maquinas, estructuras entre otros, dentro de la planta. Estos van agendándose dentro de un registro y almacenándose como ordenes de trabajo, de los cuales se verifican el cumplimiento, el tipo de mantenimiento realizado. La información técnica realizada a continuación, es breve y general debido a la información suministrada por C.I MILPA.

##### 3.1.1 Bandas transportadoras:

En la planta de lavado Santa María, se cuentan con 10 bandas transportadoras, cuya función es trasladar el carbón paulatinamente a través del circuito de lavado, y obtener el producto final. Estas bandas cuentan con una cinta, estaciones para los rodillos, tambores de cabeza y cola, rodillos de carga (en algunas de ellas), rodillos de retorno, encauzadores, estructura de soporte o bastidor, motorreductor, conexiones eléctricas entre otros.

Para las bandas transportadoras generalmente se realizaban ordenes de trabajo tales como, alineamientos y agrafes de las cintas, cambios de rodillos, cambios de moto reductores, cambios de cadenas, piñones, soldaduras al bastidor, cambio de cableado, ajuste de los encauzadores, entre otros.

- Motores entre 3 – 10 hp.
- Longitud 10 - 70 m.
- Rodillos, rodillos de impacto o carga y de retorno.
- Pluma (estructura en acero).
- Cinta transportadora de caucho.
- Arranques directos y variadores de velocidad para los motores.
- Encauzadores.
- Cadenas, correas y poleas.
- Tambor de cabeza y de cola.

##### 3.1.2 Cribas:

Las cribas desempeñan un papel importante dentro de la planta la cual cuenta con 5, y están encargadas de separar, clasificar y limpiar el carbón grueso (10 mm – 5 mm) con chorros de agua y vibración mecánica producida por módulos que oscilan a grandes frecuencias, mediante duchas pequeñas, mallas de diversos calibres, pisamallas, vigas de soporte, estructura metálica, sistema de amortiguación (bombonas o resortes), módulos vibratorios, moto reductores y shut de salida.

**Figura 6.** Banda transportadora



Fuente: El autor.

Generalmente las cribas presentan en las ordenes de trabajo cambios de mallas, pisamallas, vigas de soporte, soldaduras, cambios de soportes, cambio de moto reductores y módulos, destapado de shut, entre otros.

- Cuerpo de la criba en acero inoxidable e= 3/4".
- Longitud: cribas de lavado, clasificación, preparación y rechazo (4 x 2 m).
- Longitud criba de alta frecuencia (2 x 1 m).
- Amortiguadores (bombonas o resortes helicoidales).
- Mallas y pisamallas.
- Módulos vibratorios.
- Motores.
- Vigas de soporte.
- Shuts de salida.

**Figura 7.** Criba Schenk



Fuente: Criba de Proceso. <https://www.directindustry.es/prod/schenck-process-holding-gmbh/product-14361-424615.html>



### 3.1.3 Tanques de almacenamiento.

Los tanques están encargados de almacenar la mezcla de carbón y las bombas de distribuirla a través de tuberías hacia las diferentes etapas de lavado dentro de la planta. Los tanques presentan atascamientos en las tuberías de conexión, desgaste de las paredes, entre otros.

- Altura: 3 m.
- Capacidad: de 15 a 20 m<sup>3</sup>.
- Paredes: platina de acero de 3/4".

**Figura 8.** Tanque de almacenamiento para medios.



Fuente: Autor.

### 3.1.4 Bombas hidráulicas y sumergibles.

La bomba consta de un impulsor, botella, motor, poleas de distribución, correas, entre otros. Generalmente la bomba presenta atascamientos, y para realizar la reparación se debe desmontar y realizar el destapado, reemplazando la bomba para mantener la operatividad de la planta. El trabajo de destapado, limpieza y reparación se genera dentro del taller de la planta Santa María.

- Bombas: tipo vertical 20 hp – 70 hp y tipo lapicero 30 hp.
- Caudal: entre 200 – 700 gpm.[Galones por minuto].
- Velocidad: entre 1000 – 2200 rpm.
- Presión: 10 – 52 mca.[metros de columna de agua].

**Figura 9.** Bombas tipo horizontal.



Fuente: Autor.

### 3.1.5 Tolvas

Las tolvas son estructuras metálicas en forma de prisma invertido, con aberturas en la parte superior e inferior, encargadas almacenar y suministrar el carbón de manera constante y en menor cantidad hacia las diferentes etapas dentro de la planta, existen tres de estas dentro de la planta lavadora, (tolva de alimentación, tolva de inertes y tolva de clasificación).

La tolva de alimentación tiene dos dosificadores los cuales pueden ser una banda transportadora pequeña o bandejas que se desplazan sobre una guía, por medio de rodillos y un brazo, conectado a un plato, cumpliendo con un mecanismo de biela-manivela conectándose a un variador de frecuencia, el cual determinara la distribución del carbón hacia la banda y hacia la planta.

- Alturas: entre los 1 - 5 m de altura.
- Capacidad de almacenamiento: 10 - 18 m<sup>3</sup>.
- Velocidad de distribución: 80-120 ton/h.
- Estructura en acero.
- Paredes: platina de acero de al menos ½”.

**Figura 10.** Tolva de carga.



Fuente: Autor

### 3.1.6 Batería o banco de hidro-ciclones e hidro-ciclones.

Son los encargados de separar el carbón y los residuos de la mezcla, mediante el centrifugado del material, retirando el material no deseado del carbón por su baja densidad, distribuyéndolos hacia las etapas de lavado de carbón y del lavado del material inerte.

Generalmente los hidro-ciclones constan de dos secciones de tubería para el producto y para el rechazo, siendo un sistema dependiente del flujo a la que circula la mezcla dentro de este y la densidad de la misma, lograra separar de forma más eficiente los elementos, además de poseer una cámara interna para una mejor distribución; rara vez presentan daños, y las intervenciones que se les realizan a estos elementos son mantenimientos de lapsos cortos, debido a su simplicidad.

- Altura: 50 cm – 150 cm.
- Entrada: tubería de 7”.
- Salida: tuberías de 3”.
- Cajón en lámina de acero de ¾”.
- Flujo: 1.5 m<sup>3</sup>/s.

### 3.1.7 Apilador radial telescópico.

Consta de dos cintas transportadoras inclinadas (bastidores), una pluma que soporta los elementos de las cintas transportadoras, rodillos, tambor motriz, tensores, rodillos guía, Winche, guayas, entre otros, de las cuales se encargan de distribuir y clasificar el carbón lavado que sale de la planta hacia el patio.

**Figura 11.** Banco de Hidro-ciclones.



Fuente: Autor.

La característica del apilador radial radica en su movimiento de rotación, y avance en dos dimensiones, desplazándolo a diferentes alturas y logrando extensiones de los bastidores, debido a su complejidad, este equipo cuenta con sistemas hidráulicos, eléctricos y mecánicos, y cuyo mantenimiento consta de grandes lapsos de ejecución, debido a su difícil alcance y los riesgos que implican, se deben tomar medidas de SST para realizar dichas actividades.

- Largo: 23-35 m.
- Numero de bastidores: 2.
- Caja de control electrónico, (contactores, protecciones, interruptores, botoneras, cables, entre otros).
- Ejes radiales.
- Sistema hidráulico (válvulas, mangueras, émbolos, motor, cilindros, entre otros).
- Motores entre los 1.5 hp y 50 hp (460 V) para (Winche, ejes radiales, y movimiento de cintas).

### 3.1.8 Centrifugas.

Son máquinas encargadas de secar el carbón lavado llevándolo a la fase final del proceso, empleando altas velocidades y extrayendo la mayor cantidad de agua del producto, las centrifugas implementadas en el secado del carbón tienen alta capacidad de carga, soportando hasta 2 toneladas y drenando el material,

es por esto que son máquinas de alto rendimiento y cualquier falla podría ser vital para la producción, bajando así el rendimiento y la calidad del producto final deseado.

**Figura 12.** Apilador radial.



Fuente: Autor

Las centrifugas tiene partes móviles (rotor, canasta, poleas, rodamientos, ejes, correas) y partes fijas (carcaza, shut, encauzadores) que se van desgastando bajo la exigencia del trabajo y la abrasividad del carbón, es por esto que los mantenimientos requeridos a este tipo de máquinas, deben ser en lapsos cortos.

### 3.1.9 Compresores.

Los compresores son máquinas encargadas de almacenar el aire del ambiente comprimiéndolo y almacenándolo para suplir a otras máquinas dentro de la planta lavadora, tal como lo son los filtros prensas, las electroválvulas, las mangueras de limpieza y alguna que otra bomba siendo indispensables para el secado del carbón y el mantenimiento de las máquinas, cuentan con un motor, un pulmón y un tanque de almacenamiento, dentro de la planta se encuentra uno de estos funcional, y el otro sirve como stock.

**Figura 13.** Centrifuga Schenck



Fuente: <https://trends.directindustry.es/schenck-process-holding-gmbh/project-14361-121655.html>

Los mantenimientos realizados a estas máquinas constan del cambio de pulmón, cambio de motor.

#### 3.1.10 Filtro prensas.

Son máquinas encargadas de extraer el agua del producto final, mediante la implementación de equipos neumáticos, mecánicos y electrónicos, siendo las máquinas más complejas dentro del proceso.

La característica principal son los filtros, equipados en un marco de hidrocarburo de parafina los cuales los hacen resistentes y livianos, cubiertos con una tela especial, por la cual fluye aire a través de mangueras y tubos, permitiendo que estos se inflen, utilizando estos dispositivos en pares de 16, permiten que por compresión del aire extraer el líquido de la mezcla de carbón y agua, generando así una “torta” de carbón, el cual ya está listo para el siguiente proceso, el de clasificación.

Así mismo están compuestos de elementos electrónicos, que permiten la automatización del proceso, separando los filtros para la extracción del material mediante carritos de movilización, electroválvulas que controlan el paso de aire hacia las cámaras de los filtros, así como la despresurización de estas, y émbolos que permiten mantener la presión hidráulica, para así minimizar el esfuerzo de presión por los filtros y elementos neumáticos.

#### 3.2 LEVANTAMIENTO DE ÓRDENES DE TRABAJO:

Las ordenes de trabajo son esenciales para la seguridad de los trabajadores, como para el desarrollo de la actividad que se va a realizar, debido a que describen de forma concisa un paso a paso de todas las acciones recomendadas para realizar un mantenimiento, instalación, adecuación, para labores no periódicas o eventuales

**Figura 14. Filtro-prensas**



Fuente: <https://www.gedar.com/residuales/deshidratacion-de-odos/filtroprensa.htm>

Estas son archivadas para poder realizar un seguimiento, de las cuales se verifica la labor ejecutada, la duración de la actividad, las herramientas implementadas, así como los insumos; de estas podemos analizar los costes de la operación, los tiempos de ejecución y el impacto a la operatividad de la planta.

De las bitácoras, ordenes de trabajo y programaciones del mantenimiento, se encontraron las siguientes máquinas, las cuales se evaluarán para la jerarquización de los activos.

A continuación, se mostrarán los activos recopilados dentro de las ordenes de trabajo, bitácoras, inspecciones e informes de mantenimiento:

**TABLA 1. Lista de activos y equipos dentro de la planta lavadora.**

NOMBRE DE LOS ACTIVOS Y EQUIPOS		
APILADOR RADIAL	BOMBA DE MEDIO DILUIDO	CRIBA DE DESLIME
BANDA 1	BOMBA DE EFLUENTES	CRIBA DE ALTA FRECUENCIA
BANDA 3	BOMBA ESPUMANTE	CRIBA DE LAVADO
BANDA 4	BOMBA HUMECTACION PATIO 1	CRIBA DE PREPARACION
BANDA 5	BOMBA LIMPIEZA EDIFICIOS A Y B	CRIBA DE RECHAZO
BANDA 6	BOMBA LIMPIEZA EDIFICIOS C Y D	DOSIFICADOR SCHENK
BANDA 7	BOMBA PRODUCTO DE ESPIRALES	ESPIRALES 1
BANDA FILTRO DE LAVADO	BOMBA RECHAZO DE TBS	ESPIRALES 2
BANDA FILTRO DE RECHAZO	BOMBA SELLOS	FILTRO PRENSA DE LAVADO
BATERIA DE HIDROCICLONES	BOMBA TANQUE DE FINOS	FILTRO PRENSA DE RECHAZO
BANDA ADICION MAGNETITA	BOMBA TANQUE DE RESIDUOS FILTRO DE RECHAZO	MOLINO TRITURADOR
BOMBA AGUA CLARIFICADA	CELDAS DE FLOTACION	SECADOR DE AIRE
BOMBA ALIMENTACION CELDAS DE FLOTACION	CENTRIFUGA CMI (FINOS)	SEPARADOR MAGNETICO
BOMBA ALIMENTACION FILTRO DE LAVADO	CENTRIFUGA SCHENK	TANQUE ACONDICIONADOR
BOMBA ALIMENTACION FILTRO DE RECHAZO	CENTRIFUGA VERTICAL	TANQUE COLECTOR
BOMBA CONTRAFLUJO DE ESPIRALES	CICLON CARBON LAVADO	TANQUE ESPESADOR

BOMBA DE BLENDING	CICLON MEDIO DENSO	TOLVA DE ALIMENTACION
BOMBA DE DUCHAS	CICLON RECHAZO ESPIRALES	TOLVA DE CAL
BOMBA DE LODOS 1	COMPRESOR 1	TOLVA PLANTA
BOMBA DE LODOS 2	COMPRESOR 2	TOLVA INERTES
BOMBA DE MEDIO DENSO	CRIBA CURVA CARBON LAVADO	TRAMPA MAGENTICA

Fuente: Autor

### 3.3 ACTUALIZACIÓN DEL DIAGRAMA DE PROCESOS.

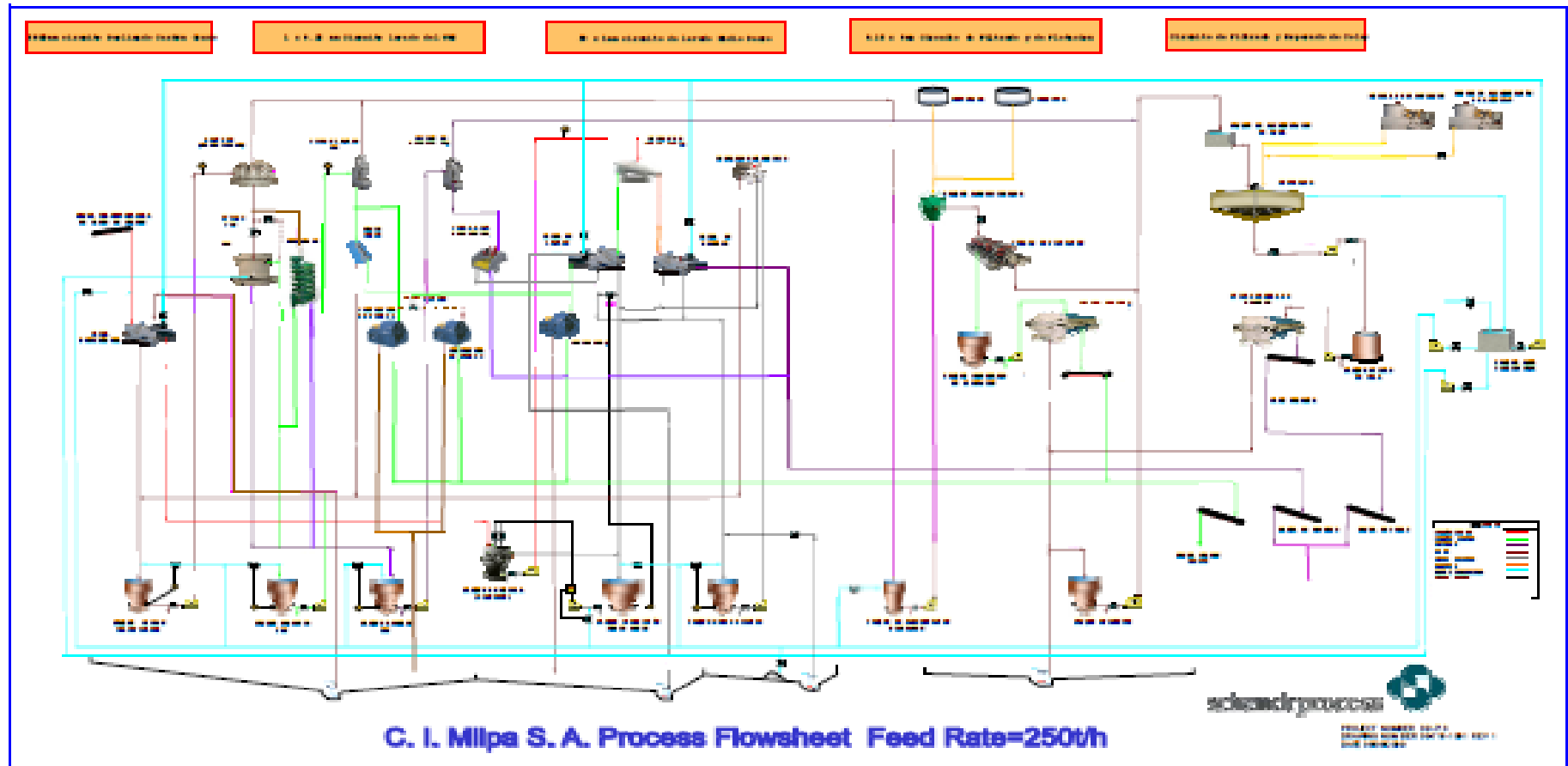
Primero se reconoció el número de equipos que estaban en operación dentro de la planta de lavado, se actualizo el diagrama de proceso de la planta, verificando las máquinas que se implementaban y agrupándolas dentro de las respectivas funciones y subprocesos del lavado de carbón.

De acuerdo al diagrama, existen máquinas y equipos conectados en cadena del flujo del material, y otros en serie donde si alguno de estos presentara fallos, automáticamente se perdería la producción en el subproceso donde este se encuentre, generalmente el subproceso más importante para la cadena de producción es el “lavado de gruesos”, seguido así por el proceso de lavado de “finos” y por ultimo al “lavado de ultra finos”, no obstante la alimentación del material hacia la planta también es un subproceso importante, por el cual tampoco puede hacerse de lado, al igual que la recolección del material, para su posterior clasificación.

Cada uno de estos subprocesos, tienen equipos y maquinas muy parecidas en sus funciones, a diferencia de pequeños cambios dentro del proceso, dentro de ellas están bandas transportadoras, hidro-ciclones, cribas, entre otros. Denotando la versatilidad del proceso para el mantenimiento, gracias a la rápida adquisición de repuestos, el reconocimiento de las máquinas, y la utilidad de estas.



Figura 15 Diagrama de proceso Actualizado. .



Fuente: Schenck Process. – Autor

### 3.4 FACTORES PARA LA MATRIZ DE CRITICIDAD:

Los valores de los factores de criticidad de cada uno de los equipos serán determinados gracias a las siguientes características: el número de fallos o la cantidad de fallas para denotar el factor de frecuencia de fallos (FF), los valores de impacto de operación (IO), la flexibilidad operacional (FO), los costes de mantenimiento de los activos (CM) y el impacto de seguridad, salud e higiene (SHA/SEI).

#### 3.4.1 Frecuencia de fallas (F.F)

Para los factores de frecuencia de fallos (F.F) se logró recapitular fallos que causaran paradas, es decir, fallas que requirieran de una intervención correctiva a las máquinas y tabular dichos datos dentro de una matriz, la cual se determinaría de esta manera:

**TABLA 2.** Clasificación y escala de frecuencia de fallos

FRECUENCIA DE FALLOS (F.F)	FALLAS EN EL AÑO
4	MAS DE 23
3	DE 16 A 23
2	DE 8 A 15
1	DE 0 A 7

*Fuente: Autor*

Donde una tasa de fallos mayor a 23 fallas por año, es decir aproximadamente 2 o más fallas correctivas por mes de una máquina, se le asignaría el valor más alto (4) para este sistema de jerarquización, seguido de valores entre los 16 a 23 fallas por año un valor de (3), de 8 a 15 un valor de (2), e inferiores a este un valor de (1).

Tabulados a continuación:

**TABLA 3.** Tabulación de datos de frecuencia de fallos para los activos ordenados alfabéticamente.

ACTIVO	FALLAS	FACTOR (F.F)
APILADOR RADIAL	12	2
BANDA 1	5	1
BANDA 3	3	1
BANDA 4	3	1
BANDA 5	7	2
BANDA 6	5	1
BANDA 7	5	1
BANDA FILTRO DE LAVADO	3	1
BANDA FILTRO DE RECHAZO	2	1
BATERIA DE HIDROCICLONES	0	1
BANDA ADICION MAGNETITA	0	1
BOMBA AGUA CLARIFICADA	0	1

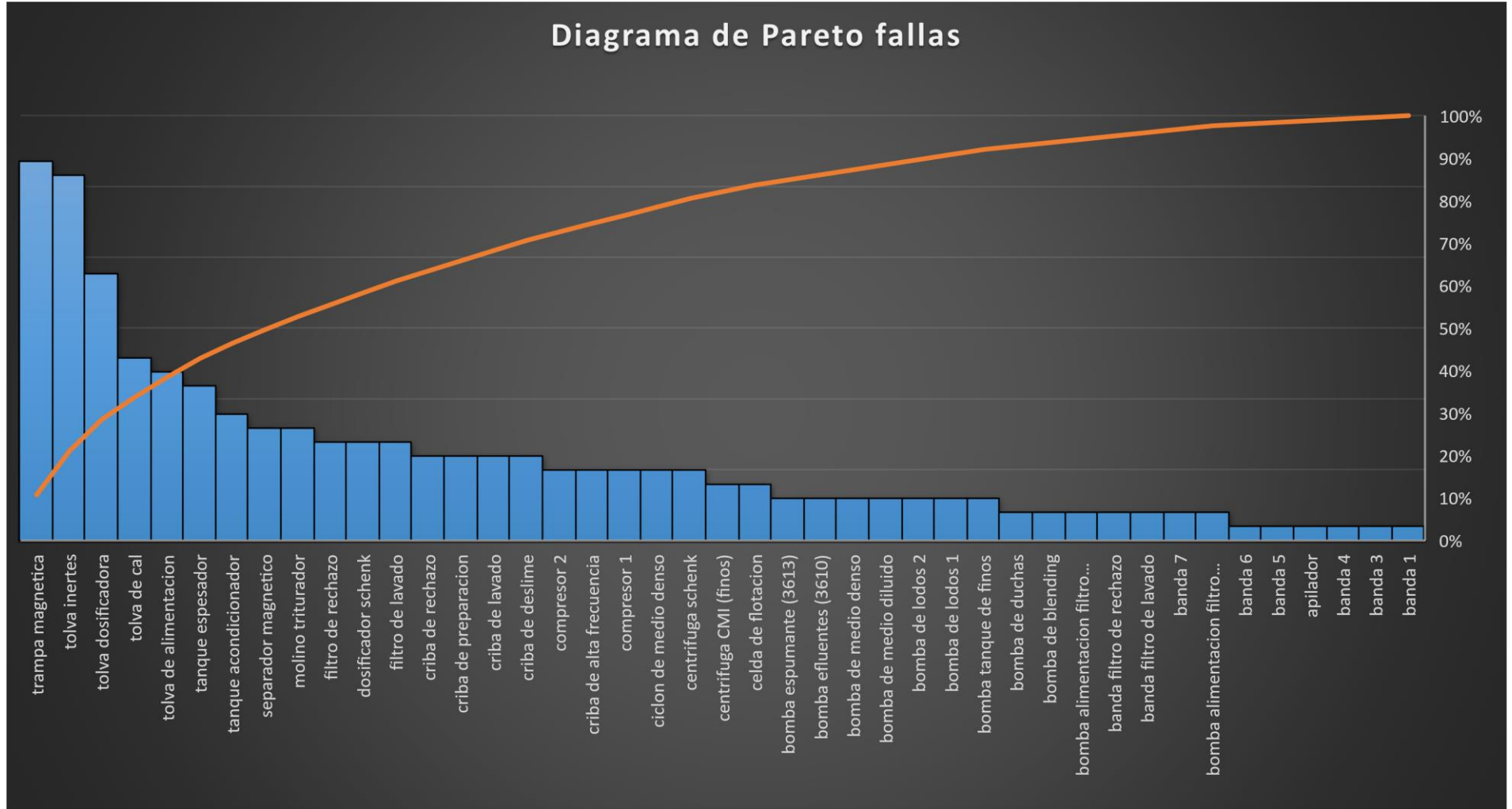
BOMBA ALIMENTACION CELDAS DE FLOTACION	0	1
BOMBA ALIMENTACION FILTRO DE LAVADO	3	1
BOMBA ALIMENTACION FILTRO DE RECHAZO	5	1
BOMBA CONTRAFLUJO DE ESPIRALES	0	1
BOMBA DE BLENDING	7	2
BOMBA DE DUCHAS	7	2
BOMBA DE LODOS 1	1	1
BOMBA DE LODOS 2	4	1
BOMBA DE MEDIO DENSO	6	1
BOMBA DE MEDIO DILUIDO	2	1
BOMBA DE EFLUENTES	1	1
BOMBA ESPUMANTE	1	1
BOMBA HUMECTACION PATIO 1	0	1
BOMBA LIMPIEZA EDIFICIOS A Y B	0	1
BOMBA LIMPIEZA EDIFICIOS C Y D	0	1
BOMBA PRODUCTO DE ESPIRALES	0	1
BOMBA RECHAZO DE TBS	0	1
BOMBA SELLOS	0	1
BOMBA TANQUE DE FINOS	1	1
BOMBA TANQUE DE RESIDUOS FILTRO DE RECHAZO	0	1
CELDAS DE FLOTACION	6	1
CENTRIFUGA CMI (FINOS)	3	1
CENTRIFUGA SCHENK	27	4
CENTRIFUGA VERTICAL	0	1
CICLON CARBON LAVADO	0	1
CICLON MEDIO DENSO	2	1
CICLON RECHAZO ESPIRALES	0	1
COMPRESOR 1	2	1
COMPRESOR 2	2	1
CRIBA CURVA CARBON LAVADO	0	1
CRIBA DE DESLIME	8	2
CRIBA DE ALTA FRECUENCIA	4	1
CRIBA DE LAVADO	26	4
CRIBA DE PREPARACION	19	3
CRIBA DE RECHAZO	3	1
DOSIFICADOR SCHENK	1	1
ESPIRALES 1	0	1
ESPIRALES 2	0	1
FILTRO PRENSA DE LAVADO	12	2
FILTRO PRENSA DE RECHAZO	13	2
MOLINO TRITURADOR	5	1
SECADOR DE AIRE	0	1
SEPARADOR MAGNETICO	8	2
TANQUE ACONDICIONADOR	2	1
TANQUE COLECTOR	0	1
TANQUE ESPESADOR	3	1
TOLVA DE ALIMENTACION	1	1
TOLVA DE CAL	2	1
TOLVA PLANTA	2	1
TOLVA INERTES	2	1
TRAMPA MAGENTICA	6	1

Fuente: Autor

**TOTAL FALLAS**

**240**

Ilustración 1. Diagrama de Pareto para fallas de los activos en la plata lavadora.



Fuente: Autor

### 3.4.2 Impacto operacional (OI).

Para el impacto operacional (**OI**), descrito como el nivel en que la inactividad de la maquina afecta al proceso en general, debido a paradas de emergencia, mantenimientos correctivos, o paradas intempestivas, ponderadas de la siguiente manera:

**TABLA 4.** Clasificación y escala (IO) Impacto Operacional

IMPACTO OPERACIONAL (I.O)	VALOR	
Pérdida total de producción	10	EXTREMADAMENTE ALTO
Pérdida de producción de un proceso importante	8	ALTO
Pérdida parcial de un proceso de producción	5	MEDIO
Pérdida menores de un proceso	3	BAJO
No genera ningún impacto	1	SIN IMPACTO

Fuente: Autor

Donde un valor de impacto operacional, determinado por la función de la maquina en el proceso, la conexión que esta conlleva junto con las demás maquinas dentro del proceso o subproceso, y el tipo de subproceso al cual está ligado la máquina, caracterizando así una máquina que genere una pérdida total en producción obtendrá el valor máximo, hasta un valor mínimo donde el impacto será nulo para el proceso en general.

Según las características ya mencionadas, se tabularon los siguientes puntajes para las maquinas dentro del proceso:

**Tabla 5.** Tabulación de datos de impacto operacional para los activos ordenados alfabéticamente.

ACTIVO	FALLAS	FACTOR (I.O)
APILADOR RADIAL	12	10
BANDA 1	5	10
BANDA 3	3	8
BANDA 4	3	10
BANDA 5	7	10
BANDA 6	5	10
BANDA 7	5	8
BANDA FILTRO DE LAVADO	3	10
BANDA FILTRO DE RECHAZO	2	10
BATERIA DE HIDROCICLONES	0	10
BANDA ADICION MAGNETITA	0	10
BOMBA AGUA CLARIFICADA	0	10
BOMBA ALIMENTACION CELDAS DE FLOTACION	0	10
BOMBA ALIMENTACION FILTRO DE LAVADO	3	10
BOMBA ALIMENTACION FILTRO DE RECHAZO	5	10
BOMBA CONTRAFLUJO DE ESPIRALES	0	10
BOMBA DE BLENDING	7	10
BOMBA DE DUCHAS	7	10
BOMBA DE LODOS 1	1	5
BOMBA DE LODOS 2	4	5
BOMBA DE MEDIO DENSO	6	10
BOMBA DE MEDIO DILUIDO	2	10
BOMBA DE EFLUENTES	1	10

BOMBA ESPUMANTE	1	10
BOMBA HUMECTACION PATIO 1	0	5
BOMBA LIMPIEZA EDIFICIOS A Y B	0	8
BOMBA LIMPIEZA EDIFICIOS C Y D	0	8
BOMBA PRODUCTO DE ESPIRALES	0	10
BOMBA RECHAZO DE TBS	0	8
BOMBA SELLOS	0	10
BOMBA TANQUE DE FINOS	1	10
BOMBA TANQUE DE RESIDUOS FILTRO DE RECHAZO	0	8
CELDAS DE FLOTACION	6	10
CENTRIFUGA CMI (FINOS)	3	8
CENTRIFUGA SCHENK	27	10
CENTRIFUGA VERTICAL	0	5
CICLON CARBON LAVADO	0	10
CICLON MEDIO DENSO	2	10
CICLON RECHAZO ESPIRALES	0	8
COMPRESOR 1	2	10
COMPRESOR 2	2	10
CRIBA CURVA CARBON LAVADO	0	5
CRIBA DE DESLIME	8	10
CRIBA DE ALTA FRECUENCIA	4	3
CRIBA DE LAVADO	26	10
CRIBA DE PREPARACION	19	10
CRIBA DE RECHAZO	3	10
DOSIFICADOR SCHENK	1	10
ESPIRALES 1	0	10
ESPIRALES 2	0	10
FILTRO PRENSA DE LAVADO	12	10
FILTRO PRENSA DE RECHAZO	13	10
MOLINO TRITURADOR	5	8
SECADOR DE AIRE	0	10
SEPARADOR MAGNETICO	8	10
TANQUE ACONDICIONADOR	2	10
TANQUE COLECTOR	0	10
TANQUE ESPESADOR	3	10
TOLVA DE ALIMENTACION	1	10
TOLVA DE CAL	2	3
TOLVA PLANTA	2	10
TOLVA INERTES	2	10
TRAMPA MAGENTICA	6	10

Fuente: Autor

#### 4.4.3 Flexibilidad operacional (OF).

La flexibilidad operacional se refiere al caso de existir una parada de emergencia, mantenimientos o paradas intempestivas, a la capacidad del equipo de mantenimiento dentro de la planta a que puedan mantener la operatividad del proceso o subproceso, mediante bypass a otras máquinas, efectividad en los cambios de máquinas o a la disminución de la tarea de la máquina, ponderadas de la siguiente manera.

**TABLA 6.** Clasificación y escala (OF) Flexibilidad Operacional.

<b>Flexibilidad Operativa (OF)</b>	<b>ESCALA</b>	<b>VALOR</b>
Sin respaldo ni procedimiento operacional alternativo	4	<b>ALTO</b>
Función de respaldo compartido	2	<b>ALTO</b>
Función de respaldo disponible	1	<b>MEDIO</b>

Fuente: Autor

Del cual un valor de flexibilidad operativa (OF) será determinante en valores altos, de acuerdo a si la maquina no cuenta con un respaldo en la operatividad que le ayuda a suplir su función dentro de este, e inferiores si cuenta con un respaldo compartido o únicamente para la máquina, mostrados a continuación:

**TABLA 7.** Tabulación de datos de flexibilidad operativa para los activos ordenados alfabéticamente.

<b>ACTIVO</b>	<b>FALLAS</b>	<b>FACTOR (F.F)</b>
APILADOR RADIAL	12	4
BANDA 1	5	4
BANDA 3	3	1
BANDA 4	3	4
BANDA 5	7	4
BANDA 6	5	4
BANDA 7	5	4
BANDA FILTRO DE LAVADO	3	4
BANDA FILTRO DE RECHAZO	2	4
BATERIA DE HIDROCICLONES	0	4
BANDA ADICION MAGNETITA	0	4
BOMBA AGUA CLARIFICADA	0	4
BOMBA ALIMENTACION CELDAS DE FLOTACION	0	4
BOMBA ALIMENTACION FILTRO DE LAVADO	3	4
BOMBA ALIMENTACION FILTRO DE RECHAZO	5	4
BOMBA CONTRAFLUJO DE ESPIRALES	0	4
BOMBA DE BLENDING	7	4
BOMBA DE DUCHAS	7	4
BOMBA DE LODOS 1	1	2
BOMBA DE LODOS 2	4	2
BOMBA DE MEDIO DENSO	6	4
BOMBA DE MEDIO DILUIDO	2	4
BOMBA DE EFLUENTES	1	4
BOMBA ESPUMANTE	1	4
BOMBA HUMECTACION PATIO 1	0	2
BOMBA LIMPIEZA EDIFICIOS A Y B	0	2
BOMBA LIMPIEZA EDIFICIOS C Y D	0	2
BOMBA PRODUCTO DE ESPIRALES	0	4
BOMBA RECHAZO DE TBS	0	4
BOMBA SELLOS	0	4
BOMBA TANQUE DE FINOS	1	4
BOMBA TANQUE DE RESIDUOS FILTRO DE RECHAZO	0	4
CELDAS DE FLOTACION	6	4
CENTRIFUGA CMI (FINOS)	3	1
CENTRIFUGA SCHENK	27	4
CENTRIFUGA VERTICAL	0	1
CICLON CARBON LAVADO	0	4
CICLON MEDIO DENSO	2	4

CICLON RECHAZO ESPIRALES	0	4
COMPRESOR 1	2	2
COMPRESOR 2	2	2
CRIBA CURVA CARBON LAVADO	0	2
CRIBA DE DESLIME	8	4
CRIBA DE ALTA FRECUENCIA	4	4
CRIBA DE LAVADO	26	4
CRIBA DE PREPARACION	19	1
CRIBA DE RECHAZO	3	4
DOSIFICADOR SCHENK	1	4
ESPIRALES 1	0	1
ESPIRALES 2	0	1
FILTRO PRENSA DE LAVADO	12	4
FILTRO PRENSA DE RECHAZO	13	4
MOLINO TRITURADOR	5	1
SECADOR DE AIRE	0	4
SEPARADOR MAGNETICO	8	1
TANQUE ACONDICIONADOR	2	4
TANQUE COLECTOR	0	4
TANQUE ESPESADOR	3	4
TOLVA DE ALIMENTACION	1	4
TOLVA DE CAL	2	1
TOLVA PLANTA	2	4
TOLVA INERTES	2	4
TRAMPA MAGENTICA	6	2

Fuente: Autor

#### 3.4.4 Factor de seguridad y medio ambiente (SEI).

Por último, el factor de impacto en seguridad y medio ambiente, determina el valor ponderado en caso de ocurrir una parada, a los daños que causa o pueda causar la maquina a la integridad de los trabajadores, la planta u otras máquinas en la que está ubicada y al medio ambiente.

**TABLA 8.** Clasificación y escala (SEI) Factor de impacto en la seguridad y medio ambiente.

Factor de impacto en la seguridad y el medio ambiente (SEI)	ESCALA	VALOR
Impacto ambiental castrófico/perdidas de vidas o muerte	8	EXTREMADAMENTE ALTO
Impacto ambiental irreversible/daño físico e importante al as personas	6	ALTO
Impacto ambiental reversible/daños físicos menores	4	MEDIO
Accidentes e incidentes menores	2	BAJO
No hay afectación en humanos, el medio ambiente o las instalaciones	1	SIN IMPACTO

Fuente: Autor

Donde los impactos catastróficos por fallas de las maquinas hacia el medio ambiente, la planta y las personas, reciben el valor ponderado más alto, el cual se irá reduciendo dicho valor al más bajo hasta no causar ninguna lesión, daño a otras máquinas o afectaciones graves al medio ambiente, ordenados de la siguiente manera:



**TABLA 9.** Tabulación de datos de flexibilidad operativa para los activos ordenados alfabéticamente.

ACTIVO	FALLAS	FACTOR (S.E.I)
APILADOR RADIAL	12	2
BANDA 1	5	2
BANDA 3	3	2
BANDA 4	3	2
BANDA 5	7	2
BANDA 6	5	2
BANDA 7	5	1
BANDA FILTRO DE LAVADO	3	2
BANDA FILTRO DE RECHAZO	2	2
BATERIA DE HIDROCICLONES	0	4
BANDA ADICION MAGNETITA	0	2
BOMBA AGUA CLARIFICADA	0	2
BOMBA ALIMENTACION CELDAS DE FLOTACION	0	2
BOMBA ALIMENTACION FILTRO DE LAVADO	3	4
BOMBA ALIMENTACION FILTRO DE RECHAZO	5	4
BOMBA CONTRAFLUJO DE ESPIRALES	0	2
BOMBA DE BLENDING	7	4
BOMBA DE DUCHAS	7	2
BOMBA DE LODOS 1	1	2
BOMBA DE LODOS 2	4	2
BOMBA DE MEDIO DENSO	6	2
BOMBA DE MEDIO DILUIDO	2	2
BOMBA DE EFLUENTES	1	2
BOMBA ESPUMANTE	1	2
BOMBA HUMECTACION PATIO 1	0	4
BOMBA LIMPIEZA EDIFICIOS A Y B	0	4
BOMBA LIMPIEZA EDIFICIOS C Y D	0	4
BOMBA PRODUCTO DE ESPIRALES	0	2
BOMBA RECHAZO DE TBS	0	2
BOMBA SELLOS	0	2
BOMBA TANQUE DE FINOS	1	4
BOMBA TANQUE DE RESIDUOS FILTRO DE RECHAZO	0	4
CELDAS DE FLOTACION	6	4
CENTRIFUGA CMI (FINOS)	3	2
CENTRIFUGA SCHENK	27	2
CENTRIFUGA VERTICAL	0	2
CICLON CARBON LAVADO	0	4
CICLON MEDIO DENSO	2	2
CICLON RECHAZO ESPIRALES	0	2
COMPRESOR 1	2	2
COMPRESOR 2	2	2
CRIBA CURVA CARBON LAVADO	0	2
CRIBA DE DESLIME	8	2
CRIBA DE ALTA FRECUENCIA	4	2
CRIBA DE LAVADO	26	2
CRIBA DE PREPARACION	19	4
CRIBA DE RECHAZO	3	2
DOSIFICADOR SCHENK	1	4
ESPIRALES 1	0	4
ESPIRALES 2	0	4
FILTRO PRENSA DE LAVADO	12	4
FILTRO PRENSA DE RECHAZO	13	4
MOLINO TRITURADOR	5	4
SECADOR DE AIRE	0	2

SEPARADOR MAGNETICO	8	2
TANQUE ACONDICIONADOR	2	2
TANQUE COLECTOR	0	4
TANQUE ESPESADOR	3	4
TOLVA DE ALIMENTACION	1	2
TOLVA DE CAL	2	2
TOLVA PLANTA	2	2
TOLVA INERTES	2	2
TRAMPA MAGENTICA	6	4

Fuente: Autor

### 3.4.5 Costos de mantenimiento (MC).

Con los valores tabulados de costes de mantenimiento encontrados como costos en repuestos, e implementos solicitados a la compañía, se encontró que los valores proporcionados no darían ningún cambio en la tabulación final del riesgo para cada activo de acuerdo al valor utilizado dentro de la anterior tabla, es por esto que se aplicó un diagrama de Pareto para los costos y se decidió modificar la tabla de clasificación de acuerdo a los nuevos valores de los costos mostrados a continuación.

**TABLA 10.** Costos de mantenimiento de los equipos ordenados de mayor a menor.

activo	costo total	activo	costo total
apilador	\$ 12.797.655,84	banda 1	\$ 244.895,21
centrifuga schenck	\$ 12.639.714,13	bomba lodos 1	\$ 161.849,77
centrifuga CMI	\$ 6.715.086,00	banda 4	\$ 158.682,30
filtro prensa de rechazo	\$ 7.758.245,55	bomba lodos 2	\$ 111.057,32
molino triturador	\$ 4.849.924,38	bomba medio diluido	\$ 100.997,64
filtro prensa de lavado	\$ 4.041.892,27	banda filtro de rechazo	\$ 75.918,00
tanque espesador	\$ 3.672.176,00	criba rechazo ciclon	\$ 59.303,17
compresor 1	\$ 2.950.140,00	ciclon medio denso	\$ 28.785,39
bomba alimentacion filtro de rechazo	\$ 2.562.401,47	banda 6	\$ 26.247,38
criba alimentadora	\$ 1.748.528,01	trampa magenetica	\$ 22.793,56
banda 3	\$ 1.142.325,62	criba rechazo ciclon	\$ 19.277,01
separador magnetico 1	\$ 1.043.760,55	bomba rechazo TBS	\$ 11.513,00
criba de lavado	\$ 1.020.052,76	tanque TBS	\$ 5.317,90
bomba blending	\$ 870.000,00	bomba alimentacion filtro de lavado	\$ 2.991,38
banda 7	\$ 667.926,38	tolva de inertes	\$ 2.866,63
banda filtro de lavado	\$ 530.314,36	bomba medio denso	\$ 2.663,84
bomba duchas	\$ 515.682,38	criba deslime	\$ 2.660,00
separador magnetico 2	\$ 460.000,00	cuarto STM	\$ 1.512,60
banda 5	\$ 682.187,00	celdas de flotacion	\$ 430,00
compresor2	\$ 353.400,00	total	\$ 68.061.174,79

Fuente: Autor

Se adecuaron los valores gracias a el diagrama de Pareto sobre los costos de mantenimiento de los equipos registrados, se generó un nuevo valor para distinguir de los equipos que más costos tenían.

**TABLA 11.** Clasificación y escala (MC) costes de mantenimiento.

Costos de mantenimiento (MC)	Escala
ALTO (mayor a 10'000.000)	2
BAJO (menor a 10'000.000)	1

Fuente: Autor

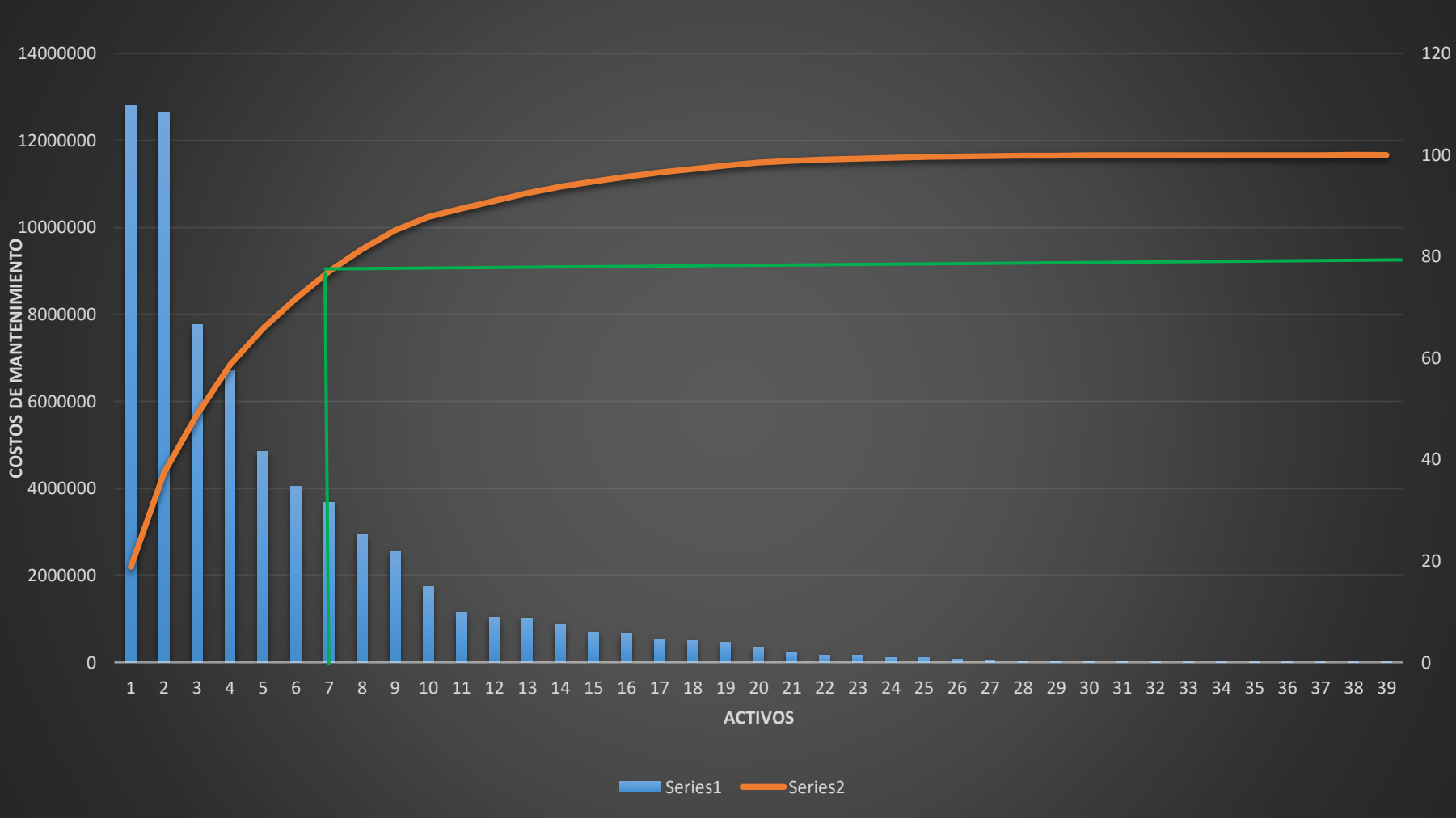
**TABLA 12.** Tabulación costes de mantenimiento.

<b>ACTIVO</b>	<b>COSTOS</b>	<b>MC</b>
APILADOR RADIAL	\$ 12.797.655,84	2
CENTRIFUGA SCHENK	\$ 12.639.714,13	2
FILTRO PRENSA DE RECHAZO	\$ 7.758.245,55	1
CENTRIFUGA CMI	\$ 6.715.086,00	1
MOLINO TRITURADOR	\$ 4.849.924,38	1
FILTRO PRENSA DE LAVADO	\$ 4.041.892,27	1
TANQUE ESPESADOR	\$ 3.672.176,00	1
COMPRESOR 1	\$ 2.950.140,00	1
BOMBA ALIMENTACION FILTRO RECHAZO	\$ 2.562.401,47	1
CRIBA DE PREPARACION	\$ 1.748.528,01	1
SEPARADOR MAGNETICO	\$ 1.503.760,55	1
BANDA 3	\$ 1.142.325,62	1
CRIBA DE LAVADO	\$ 1.020.052,76	1
BOMBA DE BLENDING	\$ 870.000,00	1
BANDA 5	\$ 682.187,00	1
BANDA 7	\$ 667.926,38	1
BANDA FILTRO DE LAVADO	\$ 530.314,36	1
BOMBA DE DUCHAS	\$ 515.682,38	1
COMPRESOR 2	\$ 353.400,00	1
BANDA 1	\$ 244.895,21	1
BOMBA DE LODOS 1	\$ 161.849,77	1
BANDA 4	\$ 158.682,30	1
BOMBA DE LODOS 2	\$ 111.057,32	1
BOMBA DE MEDIO DILUIDO	\$ 100.997,64	1
CRIBA DE ALTA FRECUENCIA	\$ 78.580,18	1
BANDA FILTRO DE RECHAZO	\$ 75.918,00	1
CICLON DE MEDIO DENSO	\$ 28.785,39	1
BANDA 6	\$ 26.247,38	1
TRAMPA MAGNETICA	\$ 22.793,56	1
BOMBA ALIMENTACION FILTRO LAVADO	\$ 2.991,38	1
TOLVA DOSIFICADORA	\$ 2.866,63	1
BOMBA DE MEDIO DENSO	\$ 2.663,84	1
CRIBA DE DESLIME	\$ 2.660,00	1
CELDAS DE FLOTACION	\$ 430,00	1
BATERIA DE HIDROCICLONES (3 CICLONES)	\$ -	1
BOMBA ADICION MAGNETITA (3027)	\$ -	1
BOMBA AGUA CLARIFICADA (3803)	\$ -	1
BOMBA ALIMENTACION CELDAS DE FLOTACION (3602)	\$ -	1
BOMBA CONTRAFLUJO ESPIRALES (3808)	\$ -	1
BOMBA EFLUENTES (3610)	\$ -	1
BOMBA ESPUMANTE (3613)	\$ -	1

BOMBA HUMECTACION PATIO 1	\$	-	1
BOMBA LIMPIEZA EDIFICIOS A Y B (3025)	\$	-	1
BOMBA LIMPIEZA EDIFICIOS C Y D (3611)	\$	-	1
BOMBA PRODUCTO ESPIRALES (3008)	\$	-	1
BOMBA RECHAZO TBS (3012)	\$	-	1
BOMBA SELLOS	\$	-	1
BOMBA TANQUE DE FINOS	\$	-	1
BOMBA TANQUE RESIDUOS FILTRO DE RECHAZO	\$	-	1
CENTRIFUGA VERTICAL	\$	-	1
CICLON CARBON LAVADO	\$	-	1
CICLON RECHAZO ESPIRALES	\$	-	1
CRIBA CURVA CARBON LAVADO	\$	-	1
CRIBA DE RECHAZO	\$	-	1
DOSIFICADOR SCHENK	\$	-	1
ESPIRALES 1	\$	-	1
ESPIRALES 2	\$	-	1
SECADOR DE AIRE	\$	-	1
TANQUE ACONDICIONADOR	\$	-	1
TANQUE COLECTOR	\$	-	1
TOLVA DE ALIMENTACION	\$	-	1
TOLVA DE CAL	\$	-	1
TOLVA INERTES	\$	-	1

Fuente: Autor

Ilustración II. Diagrama de Pareto de los costes de mantenimiento.



Fuente: Autor

#### 4. DETERMINACIÓN DEL VALOR DE CRITICIDAD.

Para los análisis de criticidad se comprendió un periodo entre febrero y septiembre del año 2021, realizándose de mes a mes y en el periodo en total, denotando los análisis de criticidad de la siguiente manera:

Primero se actualizo el diagrama de proceso de la planta de lavado, para reconocer el proceso y poder designar los valores de la matriz semi-cuantitativa.

Mediante la tabulación de todos los valores designados para determinar el factor de criticidad y el riesgo de cada uno de los equipos (F.F), (I.O), (O.F), (SEI) y (MC), logramos determinar la matriz para generar la respectiva jerarquización de activos dentro del proceso de lavado de carbón. Dados los valores del factor de riesgo para los activos, los valores de criticidad se expondrán mediante un valor de colores como su denotación característica denotados así:

**TABLA 13.** Clasificación Riesgo y Criticidad

Riesgo	Valor y color
0 - 38	NO CRITICO
39 - 79	SEMICRITICO
Superiores a 80	CRITICO

Fuente: Autor

**Figura 16** Matriz de criticidad.



Fuente: Autor

Los datos recopilados anteriormente y actualizados por colores del factor de riesgo y su respectiva criticidad

**TABLA 14.** Tabulación de Criticidad de los activos

ACTIVO	FAL.	ORD. MAN	FAL. MES	FF	IO	O F	IO X OF	SEI	M C	C	R.	CRITICIDAD
APILADOR RADIAL	12	18	2	2	10	4	40	2	2	44	88	CRITICO
BANDA 1	5	8	1	1	10	4	40	2	1	43	43	SEMICRITICO
BANDA 3	3	5	0	1	8	1	8	2	1	11	11	NO CRITICO
BANDA 4	3	5	0	1	10	4	40	2	1	43	43	SEMICRITICO
BANDA 5	7	11	1	2	10	4	40	2	1	43	86	CRITICO
BANDA 6	5	8	1	1	10	4	40	2	1	43	43	SEMICRITICO
BANDA 7	5	8	1	1	8	4	32	1	1	34	34	NO CRITICO
BANDA FILTRO DE LAVADO	3	5	0	1	10	4	40	2	1	43	43	SEMICRITICO
BANDA FILTRO DE RECHAZO	2	3	0	1	10	4	40	2	1	43	43	SEMICRITICO
BATERIA DE HIDROCICLONES (3 CICLONES)	0	0	0	1	10	4	40	4	1	45	45	SEMICRITICO
BOMBA ADICION MAGNETITA	0	0	0	1	10	4	40	2	1	43	43	SEMICRITICO
BOMBA AGUA CLARIFICADA	0	0	0	1	10	4	40	2	1	43	43	SEMICRITICO
BOMBA ALIMENTACION CELDAS DE FLOTACION	0	0	0	1	10	4	40	2	1	43	43	SEMICRITICO
BOMBA ALIMENTACION FILTRO DE LAVADO	3	5	0	1	10	4	40	4	1	45	45	SEMICRITICO
BOMBA ALIMENTACION FILTRO DE RECHAZO	5	8	1	1	10	4	40	4	1	45	45	SEMICRITICO
BOMBA CONTRAFLUJO ESPIRALES	0	0	0	1	10	4	40	2	1	43	43	SEMICRITICO
BOMBA DE BLENDING	7	11	1	2	10	4	40	4	1	45	90	CRITICO
BOMBA DE DUCHAS	7	11	1	2	10	4	40	2	1	43	86	CRITICO
BOMBA DE EFLUENTES	1	2	0	1	10	4	40	2	1	43	43	SEMICRITICO
BOMBA DE LODOS 1	4	6	1	1	5	2	10	2	1	13	13	NO CRITICO
BOMBA DE LODOS 2	6	9	1	1	5	2	10	2	1	13	13	NO CRITICO
BOMBA DE MEDIO DENSO	6	9	1	1	10	4	40	2	1	43	43	SEMICRITICO
BOMBA DE MEDIO DILUIO	2	3	0	1	10	4	40	2	1	43	43	SEMICRITICO
BOMBA ESPUMANTE	1	2	0	1	10	4	40	2	1	43	43	SEMICRITICO
BOMBA HUMECTACION PATIO 1	0	0	0	1	5	2	10	4	1	15	15	NO CRITICO
BOMBA LIMPIEZA EDIFICIOS A Y B	0	0	0	1	8	2	16	4	1	21	21	NO CRITICO
BOMBA LIMPIEZA EDIFICIOS C Y D	0	0	0	1	8	2	16	4	1	21	21	NO CRITICO
BOMBA PRODUCTO ESPIRALES	0	0	0	1	10	4	40	2	1	43	43	SEMICRITICO
BOMBA RECHAZO TBS	0	0	0	1	8	4	32	2	1	35	35	NO CRITICO
BOMBA SELLOS	0	0	0	1	10	4	40	2	1	43	43	SEMICRITICO
BOMBA TANQUE DE FINOS	1	2	0	1	10	4	40	4	1	45	45	SEMICRITICO
BOMBA TANQUE RESIDUOS FILTRO DE RECHAZO	0	0	0	1	8	4	32	4	1	37	37	NO CRITICO
CELDAS DE FLOTACION	6	9	1	1	10	4	40	4	1	45	45	SEMICRITICO

CENTRIFUGA CMI	3	5	0	1	8	1	8	2	1	11	11	NO CRITICO
CENTRIFUGA SCHENK	27	41	3	4	10	4	40	2	2	44	6	CRITICO
CENTRIFUGA VERTICAL	0	0	0	1	5	1	5	2	1	8	8	NO CRITICO
CICLON CARBON LAVADO	0	0	0	1	10	4	40	4	1	45	45	SEMICRITICO
CICLON DE MEDIO DENSO	2	3	0	1	10	4	40	2	1	43	43	SEMICRITICO
CICLON RECHAZO ESPIRALES	0	0	0	1	8	4	32	2	1	35	35	NO CRITICO
COMPRESOR 1	2	3	0	1	10	2	20	2	1	23	23	NO CRITICO
COMPRESOR 2	2	3	0	1	10	2	20	2	1	23	23	NO CRITICO
CRIBA CURVA CARBON LAVADO	0	0	0	1	5	2	10	2	1	13	13	NO CRITICO
CRIBA DE ALTA FRECUENCIA	8	12	1	2	3	4	12	2	1	15	30	NO CRITICO
CRIBA DE DESLIME	4	6	1	1	10	4	40	4	1	45	45	SEMICRITICO
CRIBA DE LAVADO	26	39	3	4	10	4	40	2	1	43	2	CRITICO
CRIBA DE PREPARACION	19	29	2	3	10	1	10	2	1	13	39	SEMICRITICO
CRIBA DE RECHAZO	3	5	0	1	10	4	40	2	1	43	43	SEMICRITICO
DOSIFICADOR SCHENK	1	2	0	1	10	4	40	4	1	45	45	SEMICRITICO
ESPIRALES 1	0	0	0	1	10	1	10	4	1	15	15	NO CRITICO
ESPIRALES 2	0	0	0	1	10	1	10	4	1	15	15	NO CRITICO
FILTRO PRESNA DE LAVADO	12	18	2	2	10	4	40	4	1	45	90	CRITICO
FILTRO PRESNA DE RECHAZO	13	20	2	2	10	4	40	4	1	45	90	CRITICO
MOLINO TRITURADOR	5	8	1	1	8	1	8	4	1	13	13	NO CRITICO
SECADOR DE AIRE	0	0	0	1	10	4	40	2	1	43	43	SEMICRITICO
SEPARADOR MAGNETICO	8	12	1	2	10	1	10	2	1	13	26	NO CRITICO
TANQUE ACONDICIONADOR	2	3	0	1	10	4	40	2	1	43	43	SEMICRITICO
TANQUE COLECTOR	0	0	0	1	10	4	40	4	1	45	45	SEMICRITICO
TANQUE ESPESADOR	3	5	0	1	10	4	40	4	1	45	45	SEMICRITICO
TOLVA DE ALIMENTACION	1	2	0	1	10	4	40	2	1	43	43	SEMICRITICO
TOLVA DE CAL	1	2	0	1	3	1	3	2	1	6	6	NO CRITICO
TOLVA DE INERTES	2	3	0	1	10	4	40	2	1	43	43	SEMICRITICO
TOLVA DOSIFICADORA	2	3	0	1	10	4	40	2	1	43	43	SEMICRITICO
TRAMPA MAGNETICA	6	9	1	1	10	2	20	4	1	25	25	NO CRITICO

Fuente: Autor

Dentro del factor de riesgo cabe resaltar que no solo los equipos con más fallas, obtuvieron los valores más altos, esto debido al factor de impacto operacional, de flexibilidad operacional, costos de mantenimiento e impacto ambiental, debido a que el riesgo depende únicamente del factor de criticidad.

La consecuencia de los fallos (C), resalta la importancia de los factores dentro del proceso a evaluar, y agrupa todos los factores anteriormente mencionados, dentro de un solo valor ver *ecuación 2*, el cual denotara el valor más acertado para determinar la criticidad del activo.

Se jerarquizan los activos de acuerdo a su número de riesgo de la siguiente manera:



**TABLA 15. Jerarquización de los equipos.**

<b>ACTIVO</b>	<b>RIESGO</b>	<b>CRITICIDAD</b>
CENTRIFUGA SCHENK	176	CRITICO
CRIBA DE LAVADO	172	CRITICO
BOMBA DE BLENDING	90	CRITICO
FILTRO PRESNA DE LAVADO	90	CRITICO
FILTRO PRESNA DE RECHAZO	90	CRITICO
APILADOR RADIAL	88	CRITICO
BANDA 5	86	CRITICO
BOMBA DE DUCHAS	86	CRITICO
BATERIA DE HIDROCICLONES (3 CICLONES)	45	SEMICRITICO
BOMBA ALIMENTACION FILTRO DE LAVADO	45	SEMICRITICO
BOMBA ALIMENTACION FILTRO DE RECHAZO	45	SEMICRITICO
BOMBA TANQUE DE FINOS	45	SEMICRITICO
CELDAS DE FLOTACION	45	SEMICRITICO
CICLON CARBON LAVADO	45	SEMICRITICO
CRIBA DE DESLIME	45	SEMICRITICO
DOSIFICADOR SCHENK	45	SEMICRITICO
TANQUE COLECTOR	45	SEMICRITICO
TANQUE ESPESADOR	45	SEMICRITICO
BANDA 1	43	SEMICRITICO
BANDA 4	43	SEMICRITICO
BANDA 6	43	SEMICRITICO
BANDA FILTRO DE LAVADO	43	SEMICRITICO
BANDA FILTRO DE RECHAZO	43	SEMICRITICO
BOMBA ADICION MAGNETITA	43	SEMICRITICO
BOMBA AGUA CLARIFICADA	43	SEMICRITICO
BOMBA ALIMENTACION CELDAS DE FLOTACION	43	SEMICRITICO
BOMBA CONTRAFLUJO ESPIRALES	43	SEMICRITICO
BOMBA DE EFLUENTES	43	SEMICRITICO
BOMBA DE MEDIO DENSO	43	SEMICRITICO
BOMBA DE MEDIO DILUIO	43	SEMICRITICO
BOMBA ESPUMANTE	43	SEMICRITICO
BOMBA PRODUCTO ESPIRALES	43	SEMICRITICO
BOMBA SELLOS	43	SEMICRITICO
CICLON DE MEDIO DENSO	43	SEMICRITICO
CRIBA DE RECHAZO	43	SEMICRITICO
SECADOR DE AIRE	43	SEMICRITICO
TANQUE ACONDICIONADOR	43	SEMICRITICO
TOLVA DE ALIMENTACION	43	SEMICRITICO
TOLVA DE INERTES	43	SEMICRITICO
TOLVA DOSIFICADORA	43	SEMICRITICO
CRIBA DE PREPARACION	39	SEMICRITICO
BOMBA TANQUE RESIDUOS FILTRO DE RECHAZO	37	NO CRITICO
BOMBA RECHAZO TBS	35	NO CRITICO
CICLON RECHAZO ESPIRALES	35	NO CRITICO

BANDA 7	34	NO CRITICO
CRIBA DE ALTA FRECUENCIA	30	NO CRITICO
SEPARADOR MAGNETICO	26	NO CRITICO
TRAMPA MAGNETICA	25	NO CRITICO
COMPRESOR 1	23	NO CRITICO
COMPRESOR 2	23	NO CRITICO
BOMBA LIMPIEZA EDIFICIOS A Y B	21	NO CRITICO
BOMBA LIMPIEZA EDIFICIOS C Y D	21	NO CRITICO
BOMBA HUMECTACION PATIO 1	15	NO CRITICO
ESPIRALES 1	15	NO CRITICO
ESPIRALES 2	15	NO CRITICO
BOMBA DE LODOS 1	13	NO CRITICO
BOMBA DE LODOS 2	13	NO CRITICO
CRIBA CURVA CARBON LAVADO	13	NO CRITICO
MOLINO TRITURADOR	13	NO CRITICO
BANDA 3	11	NO CRITICO
CENTRIFUGA CMI	11	NO CRITICO
CENTRIFUGA VERTICAL	8	NO CRITICO
TOLVA DE CAL	6	NO CRITICO

Fuente: Autor

De acuerdo con la jerarquización se estipulo tomar a los equipos más críticos realizar un análisis de posibles fallas, como base del (RCM) mantenimiento centrado en confiabilidad, se dispone de la implementación de un análisis de criticidad para la planta, y un análisis de efectos y modos de falla (AMEF) para los equipos más críticos de la planta, es decir aquellos que requieren de planes que ayuden a contribuir con el aumento de la confiabilidad de los equipos.

Es por esto que, por diseño, operatividad, disposición y producción, se escogieron 6 máquinas para realizar el análisis de modos y efectos de falla, que podrían aplicarse con otros equipos dentro de la planta, debido a su semejanza con otros equipos.

**TABLA 16.** Activos Críticos que se realizara su respectivo AMEF y estudio de confiabilidad.

ACTIVOS A REALIZAR AMEF	FALLAS
CENTRIFUGA SCHENK	27
CRIBA DE LAVADO	26
APILADOR RADIAL	12
FILTRO PRENSA DE LAVADO	11
BOMBA DE BLENDING	7
BANDA 5	7

Fuente: Autor

## 5. CALCULO DE LA CONFIABILIDAD DE LOS EQUIPOS:

Es la probabilidad de que un equipo o sistema opere sin fallas por un periodo de tiempo y bajo condiciones de operación previamente establecidas.

Se puede definir por la siguiente ecuación:

$$R(t) = e^{-\lambda t} \text{ Ecuacion 7.}$$

Donde:

**R**= función con razón del tiempo de la probabilidad de confiabilidad.

**λ** = tasa de razón de fallas por máquina.

**t** = tiempo de evaluación (periodo de evaluación)

**TABLA 17.** Tabulación de confiabilidad de los equipos.

ACTIVO	FALLAS	CONFB. EN EL MES	CONFB. EN EL PERIODO
BATERIA DE HIDROCICLONES (3 CICLONES)	0	100%	100%
BOMBA ADICION MAGNETITA	0	100%	100%
BOMBA AGUA CLARIFICADA	0	100%	100%
BOMBA ALIMENTACION CELDAS DE FLOTACION	0	100%	100%
BOMBA CONTRAFLUJO ESPIRALES	0	100%	100%
BOMBA HUMECTACION PATIO 1	0	100%	100%
BOMBA LIMPIEZA EDIFICIOS A Y B	0	100%	100%
BOMBA LIMPIEZA EDIFICIOS C Y D	0	100%	100%
BOMBA PRODUCTO ESPIRALES	0	100%	100%
BOMBA RECHAZO TBS	0	100%	100%
BOMBA SELLOS	0	100%	100%
BOMBA TANQUE RESIDUOS FILTRO DE RECHAZO	0	100%	100%
CENTRIFUGA VERTICAL	0	100%	100%
CICLON CARBON LAVADO	0	100%	100%
CICLON RECHAZO ESPIRALES	0	100%	100%
CRIBA CURVA CARBON LAVADO	0	100%	100%
ESPIRALES 1	0	100%	100%
ESPIRALES 2	0	100%	100%
SECADOR DE AIRE	0	100%	100%
TANQUE COLECTOR	0	100%	100%
BOMBA EFLUENTES	1	98%	88%
BOMBA ESPUMANTE	1	98%	88%
BOMBA TANQUE DE FINOS	1	98%	88%
DOSIFICADOR SCHENK	1	98%	88%
TOLVA DE ALIMENTACIÓN	1	98%	88%
TOLVA DE CAL	1	98%	88%
BANDA FILTRO DE RECHAZO	2	97%	78%
BOMBA DE MEDIO DILUIDO	2	97%	78%
HIDRO CICLÓN DE MEDIO DENSO	2	97%	78%

COMPRESOR 1	2	97%	78%
COMPRESOR 2	2	97%	78%
TANQUE ACONDICIONADOR	2	97%	78%
TOLVA DOSIFICADORA	2	97%	78%
TOLVA INERTES	2	97%	78%
BANDA 3	3	95%	69%
BANDA 4	3	95%	69%
BANDA FILTRO DE LAVADO	3	95%	69%
BOMBA ALIMENTACIÓN FILTRO LAVADO	3	95%	69%
CENTRIFUGA CMI (FINOS)	3	95%	69%
CRIBA DE RECHAZO	3	95%	69%
TANQUE ESPESADOR	3	95%	69%
BOMBA DE LODOS 1	4	94%	61%
CRIBA DE DESLIME	4	94%	61%
BANDA 1	5	92%	54%
BANDA 6	5	92%	54%
BANDA 7	5	92%	54%
BOMBA ALIMENTACIÓN FILTRO RECHAZO	5	92%	54%
MOLINO TRITURADOR	5	92%	54%
BOMBA DE LODOS 2	6	91%	47%
BOMBA DE MEDIO DENSO	6	91%	47%
CELDA DE FLOTACIÓN	6	91%	47%
TRAMPA MAGNÉTICA	6	91%	47%
BANDA 5	7	90%	42%
BOMBA DE BLENDING	7	90%	42%
BOMBA DE DUCHAS	7	90%	42%
CRIBA DE ALTA FRECUENCIA	8	88%	37%
SEPARADOR MAGNÉTICO	8	88%	37%
FILTRO DE LAVADO	11	84%	25%
APILADOR	12	83%	22%
FILTRO DE RECHAZO	13	82%	20%
CRIBA DE PREPARACIÓN	19	74%	9%
CRIBA DE LAVADO	26	67%	4%
CENTRIFUGA SCHENK	27	66%	3%

Fuente: Autor

Así mismo se pudo determinar los índices de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad, tiempo medio entre fallas y tiempo medio de reparación, con las siguientes ecuaciones:

$$MTBF = \frac{\text{tiempo total disponible} - \text{tiempo de inactividad}}{\text{numero de fallas}}$$

$$MTTR = \frac{\text{tiempo total de mantenimiento}}{\text{numero de fallas}}$$

$$D(t) = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}.$$

$$D(t) = e^{-\frac{1}{MTBF} * t}.$$

De acuerdo a las anteriores ecuaciones debemos recopilar los tiempos de inactividad por mantenimiento y el tiempo total disponible de operatividad de la máquina.

El tiempo total de disponibilidad se dedujo debido a la modalidad de operación de la planta de lavado, descartando de los 7 días de la semana, el día de mantenimiento (jueves), y sacando de operatividad los días domingo que no se trabaja, aparte de esto se trabajan en turnos de 8 horas y se descartan los turnos de paradas programadas los cuales incluyen (inicialización de la planta, paradas del tiempo medio de trabajo de 16 horas y solo 5 días de trabajo es por esto que:

$$\text{tiempo total disponible} = 16(h) * 5(d) * 32(\text{semanas}) = 2560 \text{ horas}$$

## 6. ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD PARA LOS ACTIVOS:

### 6.1 CENTRIFUGA SCHENK:

**TABLA 18.** Tabulación de fallos de la centrifuga Schenk.

FALLAS DE CENTRIFUGA SCHENK				
Cantidad	Fecha	Anomalia	T. (hrs)	tipo
1	08-feb	Arreglo de malla	1	correctivo
2	24-mar	Destapar tubería de desahogue de la centrifuga Schenk	2,3	correctivo
3	02-jun	Atascamiento en tubo de centrifuga	1,83	correctivo
4	04-jun	Atascamiento en el chute de centrifuga	0,4	correctivo
5	14-jun	Reparar shut de entrada a la centrifuga	2	mala operación
7	19-jun	Cambio de rodamientos	8	correctivo
8	29-jun	Instalación de eje de centrifuga schenk	6	correctivo
9	02-jul	Cambio de rodamiento y reestructuración del modulo	7	mal mantenimiento
10	02-jul	Atascamiento en shut de centrifuga	1	correctivo
11	09-jul	desinstalar eje de centrifuga schenk	2	mal mantenimiento
6	21-jul	Atascamiento en el shut de centrifuga	2	correctivo
12	23-jul	instalación de eje de centrifuga schenk	6	mal mantenimiento
13	25-jul	Montaje de tubo	1	correctivo
14	27-jul	Re parchado de malla	1	correctivo
15	28-jul	Desinstalar eje de centrifuga schenk	2	mal mantenimiento
16	02-ago	Arreglo acometida	2	correctivo
17	02-ago	Instalación de modulo	1	mala operación
18	08-ago	Reparación a centrifuga	6	mal mantenimiento
19	13-ago	Instalación de vibras a centrifuga	2	mal mantenimiento
20	17-ago	desinstalar eje de centrifuga schenk	2	mal mantenimiento
21	19-ago	Sobrecalentamiento de la centrifuga	1,25	mala operación
22	20-ago	Desmante de polea en centrifuga	1,5	correctivo
23	24-ago	Desprendimiento en amortiguador	1	mala operación
24	24-ago	Sobrecalentamiento de la centrifuga	1	mala operación
25	03-sep	Destapado de tubería de drenaje de agua de centrifuga	0,5	correctivo
26	07-sep	Sobrecalentamiento de la centrifuga	1,25	mala operación
27	20-sep	Sobrecalentamiento de la centrifuga	1	mala operación
			64,03	Total horas

Fuente: Autor

**TABLA 19.** Causas raíz de los fallos de la centrifuga Schenk.

CAUSAS RAIZ	total	%
Mala operación	7	26%
correctivos	13	48%
Mal mantenimiento	7	26%

*Fuente: Autor*

**TABLA 20.** Disponibilidad y confiabilidad de la centrifuga Schenk.

CONFIABILIDAD Y DISPONIBILIDAD CRIBA DE LAVADO	
TIEMPO TOTAL DISPONIBLE (horas)	2560
TIEMPO TOTAL DE INACTIVIDAD (horas)	85,5
FALLAS TOTALES	26
tiempo medio entre fallas (MTBF) (h)	95,17
tiempo medio entre fallas (MTBF) (días)	3,97
tiempo medio entre fallas (MTBF) (mes)	0,13
tiempo medio para reparar (MTTR) (h)	3,29
tiempo medio para reparar (MTTR) (días)	0,14
disponibilidad	96,660%
confiabilidad	0,052%
mantenibilidad	26%

*Fuente: Autor*

## 6.2 CRIBA DE LAVADO.

**TABLA 21.** Tabulación de fallos de la criba de lavado.

FALLAS CRIBA DE LAVADO				
Cantidad	Fecha	Anomalia	T. (hrs)	tipo
1	20-ene.	cambio pisamallas	2	correctivo
2	3-feb.	cambio motor	3	mala operación
3	8-feb.	cambio de motor	3	mal mantenimiento
4	17-feb.	cambio de mallas	2	correctivo
5	6-mar.	cambio de motor	3	mala operación
6	24-mar.	destapado de mallas	1,5	correctivo
7	26-mar.	destapado de mallas	1,5	correctivo
8	26-mar.	destapado de duchas	1	mala operación
9	30-mar.	cambio de módulos	2,5	mala operación
10	7-abr.	cambio de tornillo	2	mal mantenimiento
11	20-abr.	cambio de motor	4	mala operación
12	26-abr.	cambio de mallas	2	correctivo
13	4-may.	cambio de mallas	2	correctivo

14	1-jun.	parchado puente	6	mal mantenimiento
15	21-jun.	cambio de mallas	1	correctivo
16	11-ago.	cambio de pisamallas	2	correctivo
17	11-ago.	refuerzo en viga	6	mal mantenimiento
18	13-ago.	cambio de puente	8	mal mantenimiento
19	13-ago.	parche en el shut	3	correctivo
20	18-ago.	cambio motor	2	mala operación
21	24-ago.	cambio de puente	8	mal mantenimiento
22	6-sep.	cambio de pisamallas	2	correctivo
23	8-sep.	refuerzo en viga	6	mal mantenimiento
24	19-sep.	destapar duchas	1	mala operación
25	20-sep.	cambio motor	3	mala operación
26	26-sep.	reparación en puente y pisamallas	8	mal mantenimiento
total			85,5	

*Fuente: Autor*

**TABLA 22** Causas raíz de los fallos de la criba de lavado

CAUSAS RAIZ	total	%
Mala operación	8	31%
Correctivos	10	38%
Mal mantenimiento	8	31%

*Fuente: Autor*

**TABLA 23.** Disponibilidad y confiabilidad de criba de lavado.

CONFIABILIDAD Y DISPONIBILIDAD CRIBA DE LAVADO	
TIEMPO TOTAL DISPONIBLE (horas)	2560
TIEMPO TOTAL DE INACTIVIDAD (horas)	85,5
FALLAS TOTALES	26
tiempo medio entre fallas (MTBF) (h)	95,17
tiempo medio entre fallas (MTBF) (días)	3,97
tiempo medio entre fallas (MTBF) (mes)	0,13
tiempo medio para reparar (MTTR) (h)	3,29
tiempo medio para reparar (MTTR) (días)	0,14
disponibilidad	96,660%
confiabilidad	0,052%
mantenibilidad	26%

*Fuente: Autor*



### 6.3 FILTRO PRENSA DE LAVADO.

**TABLA 24.** Tabulación de fallos del filtro prensa de lavado.

FALLAS FILTRO PRENSA DE LAVADO				
Cantidad	Fecha	Anomalia	T. (hrs)	tipo
1	5-abr.	fallo por resortes del carrito	1	mala operación
2	7-abr.	cambio de telas	1	correctivo
3	21-abr.	cambio de 7 telas	4	correctivo
4	26-abr.	rectificación de rosca	1	correctivo
5	12-may.	cambio de modulo	0,5	mala operación
6	13-may.	reparación parada de emergencia	3	mala operación
7	16-may.	cambio de telas	1	correctivo
8	16-jul.	cambio de resorte carrito	0,6	mala operación
9	27-jul.	Falla sobrepresión	1	mala operación
10	13-ago.	cambio de telas	1,5	correctivo
11	28-ago.	cambio de motor en filtro prensa de lavado	3	correctivo
total			17,6	

*Fuente: Autor*

**TABLA 25.** Causas raíz de los fallos del filtro prensa de lavado.

CAUSAS RAIZ	total	%
mala operación	5	45%
correctivos	6	55%
mal mantenimiento	0	0%

*Fuente: Autor*

**TABLA 26.** Disponibilidad y confiabilidad del filtro prensa de lavado.

CONFIABILIDAD Y DISPONIBILIDAD FILTRO PRENSA LAVADO	
TIEMPO TOTAL DISPONIBLE (horas)	2560
TIEMPO TOTAL DE INACTIVIDAD (horas)	17,6
FALLAS TOTALES	11
tiempo medio entre fallas (MTBF) (h)	231,13
tiempo medio entre fallas (MTBF) (días)	9,63
tiempo medio entre fallas (MTBF) (mes)	0,32
tiempo medio para reparar (MTTR) (h)	1,60
tiempo medio para reparar (MTTR) (días)	0,07
disponibilidad	99,313%
confiabilidad	4,437%
mantenibilidad	46%

Fuente: Autor

#### 6.4 BOMBA BLENDING

**TABLA 27.** Tabulación de fallos de la bomba de blending.

FALLAS BOMBA BLENDING				
Cantidad	Fecha	Anomalia	T. (hrs)	tipo
1	15-feb.	Cambio de variador y destapar laterales	3	mala operación
2	11-mar.	falla por sobrecalentamiento	0,333	mala operación
3	14-may.	atascamiento en tubería lateral	0,333	correctivo
4	21-jun.	alinear poleas	4	correctivo
5	11-ago.	destapar entradas de tubería	2	correctivo
6	1-sep.	atascamiento bomba	1,5	mala operación
7	4-sep.	reparar tubería	4	correctivo
total			15,166	

Fuente: Autor

**TABLA 28.** Causas raíz de los fallos de la bomba de blending.

CAUSAS RAIZ	total	%
mala operación	3	43%
correctivos	4	57%
mal mantenimiento	0	0%

Fuente: Autor

**TABLA 29.** Disponibilidad y confiabilidad de la bomba de blending

CONFIABILIDAD Y DISPONIBILIDAD BOMBA BLENDING	
TIEMPO TOTAL DISPONIBLE (horas)	2560
TIEMPO TOTAL DE INACTIVIDAD (horas)	15,166
FALLAS TOTALES	7
tiempo medio entre fallas (MTBF) (h)	363,55
tiempo medio entre fallas (MTBF) (días)	15,15
tiempo medio entre fallas (MTBF) (mes)	0,50
tiempo medio para reparar (MTTR) (h)	2,17
tiempo medio para reparar (MTTR) (días)	0,09
disponibilidad	99,408%
confiabilidad	13,800%

Fuente: Autor

## 6.5 APILADOR RADIAL.

**TABLA 30.** Tabulación de fallos del apilador radial.

FALLAS DEL APILADOR RADIAL				
Cantidad	Fecha	Anomalia	T. (hrs)	tipo
1	15-mar.	falla en cadena de desplazamiento	2	mala operación
2	5-abr.	cambio de caja reductora	2	mala operación
3	12-abr.	Reventamiento de guaya	2	mala operación
4	16-abr.	arreglo de raspador de banda 1 apilador	2	correctivo
5	14-may.	Arreglo de rodamientos	1	mala operación
6	16-jun.	cambio de cable acerado	2	correctivo
7	23-jun.	falla-apagado	0,3	mala operación
8	30-jun.	Falla eléctrica	0,3	mala operación
9	6-jul.	Falla eléctrica	1,25	mala operación
10	12-jul.	cambio de válvula de alivio	3	correctivo
11	6-ago.	instalación de polea de apilador	4	correctivo
12	20-sep.	arreglo de cilindros hidráulicos	4	mala operación
TOTAL			23,85	

*Fuente: Autor*

**TABLA 31.** Causas raíz de los fallos del apilador radial.

CAUSAS RAIZ	total	%
mala operación	8	0,667
correctivos	4	0,333
mal mantenimiento	0	0

*Fuente: Autor*

**TABLA 32.** Disponibilidad y confiabilidad del apilador radial.

CONFIABILIDAD Y DISPONIBILIDAD APILADOR RADIAL	
TIEMPO TOTAL DISPONIBLE (horas)	2560
TIEMPO TOTAL DE INACTIVIDAD (horas)	23,85
FALLAS TOTALES	12
tiempo medio entre fallas (MTBF) (h)	211,35
tiempo medio entre fallas (MTBF) (días)	8,81
tiempo medio entre fallas (MTBF) (mes)	0,29
tiempo medio para reparar (MTTR) (h)	1,99
tiempo medio para reparar (MTTR) (días)	0,08
disponibilidad	99,068%
confiabilidad	3,315%
mantenibilidad	40%

Fuente: Autor

6.6 BANDA 5.

**TABLA 33.** Tabulación de fallos del apilador radial.

<b>FALLAS BANDA 5</b>				
Cantidad	Fecha	Anomalia	T. (hrs)	tipo
1	20-mar.	cambiar tambor de cola eje desgastado	3	correctivo
2	9-abr.	colocar parche	2	correctivo
3	2-jul.	cambio de chumacera	3	mala operación
4	11-jul.	falla eléctrica	0,3	mala operación
5	3-ago.	cambio de rodamiento	3	mala operación
6	10-ago.	cambio de rodillo motriz de banda 5	3	correctivo
7	20-sep.	cambio cadena	1	correctivo
TOTAL			15,3	

Fuente: Autor

**TABLA 34.** Causas raíz de los fallos del apilador radial.

CAUSAS RAIZ	total	%
mala operación	3	43%
correctivos	4	57%
mal mantenimiento	0	0%

Fuente: Autor

**TABLA 35.** Disponibilidad y confiabilidad del apilador radial.

<b>CONFIABILIDAD Y DISPONIBILIDAD BANDA 5</b>	
TIEMPO TOTAL DISPONIBLE (horas)	2560
TIEMPO TOTAL DE INACTIVIDAD (horas)	15,3
FALLAS TOTALES	7
tiempo medio entre fallas (MTBF) (h)	363,53
tiempo medio entre fallas (MTBF) (días)	15,15
tiempo medio entre fallas (MTBF) (mes)	0,50
tiempo medio para reparar (MTTR) (h)	2,19
tiempo medio para reparar (MTTR) (días)	0,09
disponibilidad	99,402%
confiabilidad	13,799%
mantenibilidad	37%

Fuente: Autor

Comparando valores de disponibilidad por fallos y por horas de trabajo de parada.

**TABLA 36.** Comparación confiabilidad de fallos vs confiabilidad por horas de trabajo.

ACTIVOS A REALIZAR AMEF	FALLAS	Confiabilidad por fallos en el periodo	Confiabilidad por horas de trabajo
CENTRIFUGA SCHENK	27	3,40%	0,041%
CRIBA DE LAVADO	26	3,90%	0,052%
APILADOR RADIAL	12	22,30%	3,315%
FILTRO PRENSA DE LAVADO	11	25,30%	4,437%
BOMBA DE BLENDING	7	41,70%	13,800%
BANDA 5	7	41,70%	13,799%

*Fuente: Autor*

## 7. IMPLEMENTACION DEL ANÁLISIS DE MODO Y EFECTOS DE FALLO (AMEF):

Para el proceso de lavado de carbón cabe denotar que la calidad, definida como el nivel de ceniza, nivel de inertes en el producto y el tipo de carbón que se está lavando, dependerá absolutamente de la eficiencia, disponibilidad y operatividad de las máquinas, es por esto que para el proceso se definió por el valor de criticidad para los activos, los cuales se vuelven prioritarios para mantener tales características.

Se realizó el AMEF de los equipos más críticos, para dar solución a los posibles fallos, y así minimizar los fallos, implementando estrategias de mantenimiento, preventivo o predictivo en estos equipos, mediante la implementación de equipos, de análisis de frecuencias, termografías, revisión de catálogos, determinación de periodos de revisión y lubricación, entre otros.

Para determinar el número de prioridad de riesgo NPR se deben tener en cuenta 3 características importantes en la aparición de la falla:

### 7.1 GRADO DE SEVERIDAD:

**TABLA 37.** Tabla de rangos para determinar el grado de severidad de una falla.

GRAVEDAD	CRITERIO	VALOR
Muy baja	Este fallo de pequeña importancia no origina efecto real sobre el rendimiento del sistema.	1
Baja	Se observa un pequeño deterioro del rendimiento del sistema sin importancia. Fácilmente subsanable.	2-3
Moderada	Deterioro en el rendimiento del sistema.	4-6
Alta	Fallo crítico y puede inutilizar el sistema.	7-8
Muy alta	Fallo potencial muy crítico que afecta el funcionamiento de seguridad y/o involucra seriamente el incumplimiento de normas reglamentarias.	9-10

*Fuente: EL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL CONCEPTOS Y ESTRATEGIAS.*

### 7.2 GRADO DE OCURRENCIA:

**TABLA 38.** Tabla de rangos para determinar el grado de ocurrencia de una falla.

FRECUENCIA	CRITERIO	VALOR
Muy baja Improbable	Ningún fallo en procesos casi idénticos. No se ha dado nunca en el pasado. Puede ser concebible.	1
Baja	Fallas aisladas en procesos similares casi idénticos. Se puede esperar en la vida del sistema. Poco probable que suceda.	2-3
Moderada	Defecto o fallo aparecido ocasionalmente en procesos similares. Aparece algunas veces en la vida del sistema o componente.	4-5
Alta	El fallo se ha presentado con cierta frecuencia en el pasado en procesos similares.	6-8
Muy alta	La falla es casi inevitable. El fallo se producirá frecuentemente.	9-10

Fuente: EL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL CONCEPTOS Y ESTRATEGIAS.

### 7.3 GRADO DE DETECCION:

**TABLA 39.** Tabla de rangos para determinar el grado de detección de las fallas.

DETECTABILIDAD	CRITERIO	VALOR
Muy alta	El defecto es obvio. Se puede detectar fácilmente.	1
Alta	El defecto es obvio y fácilmente detectable pero puede escapar a un primer control, pero sería detectado seguramente a posteriori.	2-3
Moderada	El defecto es detectable.	4-6
Pequeña	No es fácil detectar el defecto con los procedimientos establecidos hasta el momento.	7-8
Improbable	No se puede detectar el defecto	9-10

Fuente: EL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL CONCEPTOS Y ESTRATEGIAS.

$$NPR = Gravedad * Frecuencia * Detectabilidad \text{ Ecuacion 1.}^{23}$$

A continuación, se encuentran la jerarquización del número de prioridad de riesgo o NPR:

- NPR alto, color rojo,  $NPR > 100$
- NPR medio, color amarillo,  $40 < NPR < 99$
- NPR bajo, color verde,  $NPR < 39$

<sup>23</sup> JIMENEZ RODRIGUEZ LUIS ALFONSO. [Libro] EL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL: CONCEPTOS Y ESTRATEGIAS. Análisis y modos y efectos de falla (AMEF) mantenibilidad Pág. 70. 2021.

Para las acciones requeridas dentro del sistema para cada NPR serán designadas de la siguiente manera:

- NPR bajo (no causara afectaciones graves en el proceso, a su vez requiere de estrategias correctivas de mantenimiento.)
- NPR medio (indican la aplicación de medidas preventivas y correctivas, en caso que ocurra la falla, ya que es muy probable que esta aparezca, sea medianamente difícil de detectar o que la severidad al cual implique en riesgo para el proceso pueda ser mitigada, gracias a planes de mantenimiento constantes o por la implementación de chequeos periódicos.)
- NPR alto (indican que estas fallas requieren de estrategias de mantenimiento preventivas y predictivas, es decir del uso de equipos avanzados para su detección, ya que la falla puede ser difícil de descubrir, se deban implementarse planes de mantenimiento rigurosos, los cuales cumplan con la revisión y cambio de piezas periódico, y a su vez requieran de mayor atención y calidad en el mantenimiento aplicado.)



## 8. RECOMENDACIONES

- Es necesario la implementación de los AMEF para la mayoría de las maquinas con el fin que se logre una puesta en marcha del RCM total en la planta, debido a su simplicidad para abordar las fallas.
- Se debe instruir al personal de mantenimiento como a los operadores de la planta acerca del funcionamiento y las características de los equipos, debido a que muchas paradas pueden ser prevenidas al existir una buena operatividad o un buen mantenimiento de ellas.
- Se precisa que el personal dentro de la planta tenga acceso a los AMEF, para optar por un acceso rápido a las soluciones para corregir las distintas fallas.
- Se aconseja realizar un reacondicionamiento a profundidad de la planta, u OVERHAULING para equipos como la centrifuga Schenck, las cribas de lavado, los hidro-ciclones, y las bandas, debido a la alta aparición de fallas de estos equipos, esto mitigaría los daños, las paradas intempestivas y bajas en la calidad, e incrementaría la relación costo-beneficio por parte del mantenimiento.

## 9. CONCLUSIONES.

Una vez realizado el análisis de criticidad, de activos del proceso de lavado de carbón para la priorización de las actividades de mantenimiento mediante la jerarquización de la maquinaria y equipos en la planta lavadora de Santa María, de la empresa INCARSA S.A.S, se ha podido establecer qué;

El levantamiento de la información técnica, la revisión de las ordenes de trabajo y la actualización del diagrama de proceso sirvió para demostrar que muchas de las maquinas presentan fallas debido a deficiencias en el diseño del sistema de gestión del mantenimiento que se está ejecutando, de manera que, se destinan recursos financieros, mano de obra y de ingeniería hacia activos de baja criticidad. En el documento se evidencia la existencia de activos críticos que en verdad requieren de los recursos para mantener la operatividad de la planta el mayor tiempo posible.

Al evaluar los factores que definen la criticidad de los equipos se encontró que las maquinas con más cantidad de fallas no necesariamente son categorizadas como críticas debido a que otros factores, tales como el impacto operacional y la flexibilidad operativa, pueden ser más relevantes en esta evaluación.

En atención a los resultados de la jerarquización de activos se plantearon acciones de respuesta ante las fallas mediante la aplicación de técnicas de ingeniería por parte del equipo de mantenimiento para las siguientes maquinas: centrifuga Schenck, criba de lavado, filtro prensas, banda transportadora 5 y la bomba del Blending o de mezclado.

Como resultado del estudio de jerarquización de los activos y del análisis de modo y efecto de falla (AMEF) para las máquinas y equipos que influyen en el proceso de lavado de carbón se determinó que la bomba de mezclado o Blending y la criba de lavado de carbón grueso son los equipos más críticos con una prioridad de riesgo considerablemente alta.

Se realizó el AMEF de los equipos más críticos, para dar solución a los posibles fallos y así minimizar la ocurrencia de paradas imprevistas, implementando estrategias de mantenimiento preventivo y predictivo en estos equipos tales como análisis de vibraciones, termografías, revisión de catálogos, revisión de los periodos de inspección, limpieza y lubricación, entre otros.

Se realizó un análisis en los sistemas móviles y estructurales de las máquinas clasificadas como críticas, para determinar los recursos y las estrategias de mantenimiento requeridas y adecuarlos dentro de los planes de mantenimiento de la planta de manera que en un futuro se podrán utilizar para desarrollar el mantenimiento basado en confiabilidad (RCM) para este proceso y posteriormente para otros procesos dentro de la empresa.

## ANEXOS

**ANEXO A.** ANALISIS DE MODO Y EFECTOS DE FALLO (AMEF) DE LOS EQUIPOS CRITICOS.

**ANEXO B.** DIAGRAMA DE PROCESO PLANTA LAVADORA ACTUALIZADO.

## REFERENCIAS

- [1] CI MILPA S.A. [en línea]. Historia INCARSA S.A.S. Disponible en internet. <[milpa.com.co/historia.html](http://milpa.com.co/historia.html)>
- [2] C.I. MILPA S.A. [en línea]. Misión INCARSA S.A.S aliados. Disponible en internet. <[milpa.com.co/historia.html](http://milpa.com.co/historia.html)>
- [3] C.I. MILPA S.A. [en línea]. Visión INCARSA S.A.S aliados. Disponible en internet. <[milpa.com.co/historia.html](http://milpa.com.co/historia.html)>
- [4] Todo acerca del mundo del mantenimiento. Disponible en internet. <<https://mantenimiento.win/>>
- [5] Mantenimiento correctivo ¿Qué es y donde se aplica? Disponible en internet. <<https://www.cursosaula21.com/que-es-el-mantenimiento-correctivo/>>
- [6] Mantenimiento preventivo: Que es, tipos y cómo hacerlo eficazmente. Disponible en internet. <<https://www.stelorder.com/blog/mantenimiento-preventivo/>>
- [7] Todo acerca del mundo del mantenimiento. Disponible en internet. <<https://mantenimiento.win/mantenimiento-predictivo/>>
- [8] Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, base de datos y criticidad de efectos. Disponible en internet. <<https://www.redalyc.org/journal/614/61458265006/html/>>
- [9] El análisis de criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad. Disponible en internet. <<https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/el-analisis-de-criticidad-una-metodologia-para-mejorar-la-confiabilidad-ope>>
- [10] El análisis de criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad. Disponible en internet. <<https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/el-analisis-de-criticidad-una-metodologia-para-mejorar-la-confiabilidad-ope>>
- [11] El análisis de criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad. Disponible en internet. <<https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/el-analisis-de-criticidad-una-metodologia-para-mejorar-la-confiabilidad-ope>>
- [12] El análisis de criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad. Disponible en internet. <<https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/el-analisis-de-criticidad-una-metodologia-para-mejorar-la-confiabilidad-ope>>
- [13] Técnica de jerarquización de activos MCCR: Matriz de Criticidad Cualitativa de Riesgo. Caso de Estudio: Unidad de Craqueo Catalítico. Disponible en internet <<https://www.researchgate.net/publication/348907968>>

[14] Técnica de jerarquización de activos MCCR: Matriz de Criticidad Cualitativa de Riesgo. Caso de Estudio: Unidad de Craqueo Catalítico. Disponible en internet <<https://www.researchgate.net/publication/348907968>>

[15] Técnica de jerarquización de activos MCCR: Matriz de Criticidad Cualitativa de Riesgo. Caso de Estudio: Unidad de Craqueo Catalítico. Disponible en internet <<https://www.researchgate.net/publication/348907968>>

[16] Análisis de criticidad y estudio RCM del equipo de máxima criticidad de una planta desmontadora de algodón. Disponible en internet <<https://pdfslide.net/documents/5-analisis-de-criticidad.html>>

[17] JIMENEZ RODRIGUEZ LUIS ALFONSO. [Libro] EL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL: CONCEPTOS Y ESTRATEGIAS. Análisis de modos y efectos de falla (AMEF) Pág. 69. 2021

[18] QUE SON MTTR Y MTBF. Disponible en internet <<https://valuekeep.com/es/recursos/mttr-y-mtbf/>>

[19] QUE SON MTTR Y MTBF. Disponible en internet <<https://valuekeep.com/es/recursos/mttr-y-mtbf/>>

[20] JIMENEZ RODRIGUEZ LUIS ALFONSO. [Libro] EL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL: CONCEPTOS Y ESTRATEGIAS. Modelos matemáticos de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad Pág. 66. 2021.

[21] JIMENEZ RODRIGUEZ LUIS ALFONSO. [Libro] EL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL: CONCEPTOS Y ESTRATEGIAS. Modelos matemáticos de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad Pág. 64. 2021.

[22] Diagrama de Pareto. Disponible en internet. <<https://www.gerencie.com/diagrama-de-pareto.html>>

[23] Origen del diagrama de Pareto. En línea [Gerencie.com] <<https://www.gerencie.com/diagrama-de-pareto.html>>

[24] Criba de Proceso. <<https://www.directindustry.es/prod/schenck-process-holding-gmbh/product-14361-424615.html>>

[25] Centrifuga Schenck. <<https://trends.directindustry.es/schenck-process-holding-gmbh/project-14361-121655.html>>

[26] Filtro-prensa. <<https://www.gedar.com/residuales/deshidratacion-de-odos/filtroprensa.htm>>

[27] JIMENEZ RODRIGUEZ LUIS ALFONSO. [Libro] EL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL: CONCEPTOS Y ESTRATEGIAS. Análisis y modos y efectos de falla (AMEF) mantenibilidad Pág. 70. 2021.