

**IMPLEMENTACION DEL ANALISIS DE CRITICIDAD Y LA JERARQUIZACION DE
ACTIVOS PARA LA INDUSTRIA CARBONIFERA DE SAMACA INCARSA S.A.S., EN
EL PROCESO DE COQUIZACIÓN DE CARBON EN LA PLANTA HORNOS SOLERA
MILPA 1-SAMACA-BOYACA.**

FRANCISCO JAVIER SANCHEZ GOMEZ

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD SECCIONAL DUITAMA
ESCUELA INGENIERIA ELECTROMECANICA
DUITAMA
2022**

**IMPLEMENTACION DEL ANALISIS DE CRITICIDAD Y LA JERARQUIZACION DE
ACTIVOS PARA LA INDUSTRIA CARBONIFERA DE SAMACA INCARSA S.A.S., EN
EL PROCESO DE COQUIZACIÓN DE CARBON EN LA PLANTA HORNOS SOLERA
MILPA 1-SAMACA-BOYACA.**

**Trabajo presentado en la modalidad de Práctica con Proyección Empresarial para
optar el título de**

INGENIERO ELECTROMÉCANICO

**FRANCISCO JAVIER SANCHEZ GOMEZ
Director: ing. ORLANDO DIAZ PARRA
Coordinador: ing. JUAN DAVID ROBLES**

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD SECCIONAL DUITAMA
ESCUELA INGENIERIA ELECTROMECHANICA
DUITAMA
2022**

Nota de aceptación

Firma del director del proyecto: DIAZ PARRA ORLANDO

Firma del jurado:

Firma del jurado:

DEDICATORIA

Este proyecto se lo dedico inicialmente a Dios porque siempre ha estado a mi lado en los momentos más difíciles de la vida y me ha brindado la sabiduría para afrontarlos y salir delante de la mejor manera.

A mis padres Javier Sánchez Mojica y Mary Luz Gómez Márquez, que gracias al esfuerzo que han tenido y tuvieron para afrontar adversidades en la vida han educado a sus hijos con valores, también agradezco a ellos por brindarme el apoyo en el camino de la ingeniería electromecánica y siempre confiaron en mí.

A mis hermanas Danna Sofia Sánchez Gómez y Sara Jineth, ya que en ellas tengo el impulso para salir adelante y poder en un futuro brindarles la mismas posibilidades y ayudas que he recibido para poder cumplir esta meta de ser un profesional.

Francisco Javier Sánchez Gómez

AGRADECIMIENTOS

Inicialmente quiero agradecerle a mi familia, ya de no haber sido por el apoyo de ellos no hubiera podido tener la oportunidad de estudiar esta maravillosa ingeniería, a mi padre le doy un agradecimiento desde lo más profundo el corazón ya que desde pequeño lo vi como ejemplo para tomar el camino de electricidad, mecánica y electrónica como profesión y que a pesar de que ya hace varios años no se encuentra en este mundo siempre estaré agradecido con él por el haberme dado las bases para tomar el camino de la ingeniería electromecánica.

A cada uno de los docentes ya que todos influyeron en el camino de mi aprendizaje en la universidad.

A la empresa INCARSA S.A.S. por darme la confianza de poder implementar mi conocimiento en el mejoramiento de sus gestiones de mantenimiento.

Al ingeniero Orlado Díaz Parra por brindarme el apoyo en la realización de este proyecto aclarando todas mis dudas y guiándome en el desarrollo, además de ser un docente del cual aprendí gran parte del conocimiento aplicado en este documento.

Al ingeniero Juan David Robles de la empresa INCARSA S.A.S por darme la oportunidad de ser parte del equipo de planeación de mantenimiento, por toda su asesoría, enseñanzas y orientación en el desarrollo del proyecto.

RESUMEN

El presente documento, muestra la implementación del análisis de criticidad y jerarquización de activos a los equipos involucrados en el proceso de coquización de carbón en la planta hornos solera Milpa 1, de la empresa INCARSA S.A.S., así como el levantamiento de información sobre fallas de cada equipo para poder calcular su disponibilidad y confiabilidad, con el fin de conocer más a fondo la eficiencia del mantenimiento implementado en dicha planta.

De igual forma se realizó un análisis de modos y efectos de falla que ayuda a identificar si un fallo es relevante para un equipo y sus posibles soluciones o prevenciones.

De otra parte, se dará a conocer algunas actividades de mantenimiento recomendadas para los equipos de la planta en base a su criticidad, con el fin de que sean aplicadas para así disminuir el número y la afectación de las fallas de cada equipo, dirigiendo los recursos y el esfuerzo humano a los activos que sean prioritarios.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	12
OBJETIVOS.....	14
OBJETIVO GENERAL	14
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
GENERALIDADES.....	15
1. GENERALIDADES DE LA EMPRESA.....	15
1.1. NOMBRE DE LA EMPRESA.....	15
1.2. LOCALIZACIÓN Y VIAS DE ACCESO DE LA EMPRESA	15
1.3. HISTORIA.....	16
1.4. MISION	17
1.5. VISIÓN.....	17
1.6. PRINCIPIOS CORPORATIVOS.....	17
2. MARCO TEÓRICO.....	19
2.1. MANTENIMIENTO	19
2.2. GESTIÓN DE MANTENIMIENTO	19
2.3. ACTIVO	19
2.4. FALLO	19
2.5. MANTENIMIENTO PREVENTIVO	19
2.6. MANTENIMIENTO PREDICTIVO	20
2.7. MANTENIMIENTO CORRECTIVO	20
2.8. MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD	20
2.8.1. Proceso del mantenimiento centrado en la confiabilidad	21
2.8.2. Ventajas y beneficios del mantenimiento centrado en confiabilidad.....	22
2.9. ANÁLISIS DE CRITICIDAD.....	22
2.10. ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA	25
2.11. MODELOS MATEMÁTICOS DE CONFIABILIDAD Y DISPONIBILIDAD	26
2.11.1. Confiabilidad $R(t)$	27
2.11.2. Disponibilidad $D(t)$	27
2.11.3. MTTR: Tiempo medio de reparación	28
2.11.4. MTBF: TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS.....	28
2.12. DIAGRAMA DE PARETO	29

3.	EQUIPOS Y DIAGRAMA DEL PROCESO DE COQUIZACIÓN.....	31
3.1.	BANDA TRANSPORTADORA	33
3.2.	LOCOMOTORA DE APAGADO.....	33
3.3.	TOLVA LLENADORA.....	34
3.4.	TOLVA DOSIFICADORA	34
3.5.	CARRO QUITA PUERTAS	35
3.6.	APILADOR RADIAL	36
3.7.	DESHORNADORA	36
3.8.	ESTAMPADORA.....	37
3.9.	TORRE DE APAGADO.....	38
3.10.	CRIBA.....	39
4.	RECOPIACIÓN DE FALLAS Y COSTOS	40
5.	IMPLEMENTACIÓN DEL ANÁLISIS DE CRITICIDAD.....	43
5.1.	CALCULO DE CRITICIDAD	43
6.	DIAGRAMA DE PARETO.....	51
7.	CALCULO DE CONFIABILIDAD Y DISPONIBILIDAD	54
8.	IMPLEMENTACIÓN DEL ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLAS AMEF ...	57
9.	ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO A APLICAR SEGÚN LA JERARQUIZACIÓN 60	
9.1.	ÁREA DE HORNOS DE COQUIZACIÓN	60
9.1.1.	Equipos críticos	60
9.1.2.	Equipos semi-críticos.....	61
9.1.3.	Equipos no críticos	66
9.2.	ÁREA DE CLASIFICACIÓN Y CARGUE.....	67
9.2.1.	Equipos críticos	67
9.2.2.	Equipos semi-críticos.....	70
9.2.3.	Equipos no críticos	70
10.	RECOMENDACIONES	71
11.	CONCLUSIONES.....	72
	ANEXOS.....	73
	REFERENCIAS	74

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Vía de acceso a planta de coquización hornos solera milpa 1 desde Samacá-Boyacá.....	15
Figura 2. Diagrama de flujo del proceso RCM.....	21
Figura 3. Modelo básico de análisis de criticidad.....	24
Figura 4. Ejemplo matriz de criticidad.....	24
Figura 5. Diagrama de Pareto.	30
Figura 6. Proceso de coquización hornos solera.	32
Figura 7. Banda transportadora.....	33
Figura 8. Vagón locomotora de apagado.....	34
Figura 9. Tolva dosificadora.	35
Figura 10. Carro quita puertas lado carbón.	35
Figura 11. Apilador radial.	36
Figura 12. Deshornadora.....	37
Figura 13. Estampadora.	37
Figura 14. Torre de apagado.....	38
Figura 15. Criba.	39
Figura 16. Diagrama de Pareto para costos de mantenimiento.	45
Figura 17. Matriz de criticidad.	48
Figura 18. Diagrama de Pareto de fallas.	52

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Equipos.....	31
Tabla 2. Fallas por equipo en la planta de coquización hornos solera Milpa 1.....	40
Tabla 3. Costos de mantenimiento por equipo en la planta de coquización hornos solera Milpa 1.....	41
Tabla 4. Valores diagrama de Pareto costos.....	44
Tabla 5. FF: frecuencias de fallos.....	45
Tabla 6. OI: factor de impacto operacional.....	45
Tabla 7. OF: factor de flexibilidad operativa.....	46
Tabla 8. MC: factor de costo del mantenimiento.....	46
Tabla 9. SEI: factor de impacto en la seguridad y el medio ambiente.....	46
Tabla 10. Calculo criticidad de equipos área hornos de coquización.....	48
Tabla 11. Calculo criticidad de equipos área clasificación y cargue.....	49
Tabla 12. Valores diagrama de Pareto fallas.....	51
Tabla 13. Equipos a los cuales se les aplicará AMEF.....	53
Tabla 14. MTBF y MTTR.....	54
Tabla 15. Confiabilidad y disponibilidad.....	55
Tabla 16. Ponderaciones AMEF.....	57
Tabla 17. AMEF Estampadora.....	58
Tabla 18. Tareas de mantenimiento recomendadas para la estampadora.....	60
Tabla 19. Tareas de mantenimiento recomendadas para la locomotora de apagado.....	61
Tabla 20. Tareas de mantenimiento recomendadas para la tolva llenadora.....	62
Tabla 21. Tareas de mantenimiento recomendadas para la tolva dosificadora.....	63
Tabla 22. Tareas de mantenimiento recomendadas para las bandas.....	63
Tabla 23. Tareas de mantenimiento recomendadas para carro quita puertas lado coque.....	64
Tabla 24. Tareas de mantenimiento recomendadas deshornadora.....	65
Tabla 25. Actividades de mantenimiento recomendadas torre de apagado.....	67
Tabla 26. Actividades de mantenimiento recomendadas para apilador radial.....	67
Tabla 27. Actividades de mantenimiento recomendadas para cribas.....	69
Tabla 28. Actividades predictivas para bandas transportadoras críticas.....	70

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1. Criticidad total por riesgo.....	23
Ecuación 2. Número de prioridad de riesgo.	26
Ecuación 3. Confiabilidad.....	27
Ecuación 4. Disponibilidad.....	28
Ecuación 5. MTTR.....	28
Ecuación 6. MTBF.....	29
Ecuación 7. Consecuencia de los eventos de fallo.	47

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, es muy importante para las empresas la gestión de sus activos físicos, evitando así daños y fallas en ellos. De igual forma, es de interés una buena gestión con sus recursos, por lo tanto, la empresa INCARSA S.A.S. se encuentra en la búsqueda de la solución más viable para que sus recursos y esfuerzos sean destinados de manera eficiente, evitando pérdidas monetarias, de mano de obra o paradas en la producción debido al descuido de algunos de sus equipos a razón de que no existe una jerarquización de ellos.

La empresa INCARSA.S.A.S., cuenta con la planta de coquización solera MILPA 1, encargada de la transformación del carbón mineral en coque metalúrgico mediante la separación de los compuestos volátiles del carbón, calentándolo a altas temperaturas (1000 a 1200°C) en ausencia de oxígeno dentro de hornos tipo solera, siendo la planta con mayor producción de coque metalúrgico de la empresa en Samacá.

Dentro de esta planta, se cuenta con componentes mecánicos, hidráulicos, neumáticos, eléctricos y electrónicos que son utilizados en el proceso de coquización, entre los que se encuentran: tolvas dosificadoras, bandas transportadoras, estampadoras, llenadoras, carros quita puertas, deshonradoras, locomotoras, cribas vibratorias, etc.

Estos equipos se encuentran en condiciones de trabajo de máxima exigencia, lo que conlleva constantemente a fallas o averías con consecuencias como accidentes o incidentes de trabajo e incluso, daños a otros componentes dentro de la planta, generando paradas imprevistas que reducen la producción, ocasionando aumento en los costos y, algunas veces, pérdida de activos.

Por lo tanto, es necesario la aplicación de un análisis de criticidad para poder establecer la jerarquía o prioridades de los procesos, sistemas y equipos, con el fin de facilitar la toma de decisiones acertadas y efectivas, direccionando el esfuerzo y los recursos en áreas donde sea más importante o necesario para mejorar la confiabilidad y, con ello, mejorar la vida útil y la disponibilidad de los activos, a su vez buscando disminuir pérdidas en la producción y optimizando el proceso de coquización sin generar sobrecostos en mantenimiento.

Para la implementación del análisis de criticidad es necesario conocer cada uno de los equipos involucrados, sus fallas y costos de mantenimiento, con el fin de utilizar la metodología más adecuada teniendo en cuenta los datos obtenidos. Ya clasificados los equipos críticos, se aplicará la metodología de análisis de modo y efecto de falla a algunos equipos críticos que se consideren más convenientes, con el fin de proveer una base para que en un futuro se pueda implementar el mantenimiento centrado en confiabilidad.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Realizar un análisis de criticidad a la maquinaria, equipos y activos involucrados en el proceso de coquización de carbón para evaluar la estrategia de gestión de mantenimiento aplicable a cada equipo mediante una jerarquización de activos en la planta de coquización hornos solera milpa uno, de la empresa INCARSA S.A.S

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un diagrama del proceso de coquización y un levantamiento de hojas de vida de las máquinas, equipos y activos de la planta con el fin de constituir y compilar los elementos de evaluación del análisis de criticidad de los equipos.
- Aplicar la metodología del análisis de modo y efecto de falla (AMEF) en algunos de los equipos que se clasifiquen como críticos con el fin de establecer las bases de la implementación en el futuro del mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM).
- Generar la jerarquización de equipos en el proceso de coquización con el fin de evaluar la estrategia de gestión de mantenimiento a aplicar según su criticidad.

GENERALIDADES

1. GENERALIDADES DE LA EMPRESA

1.1. NOMBRE DE LA EMPRESA

INDUSTRIA CARBONÍFERA DE SAMACÁ S.A.S «INCARSA S.A.S»,

NIT: 830.078.829-5

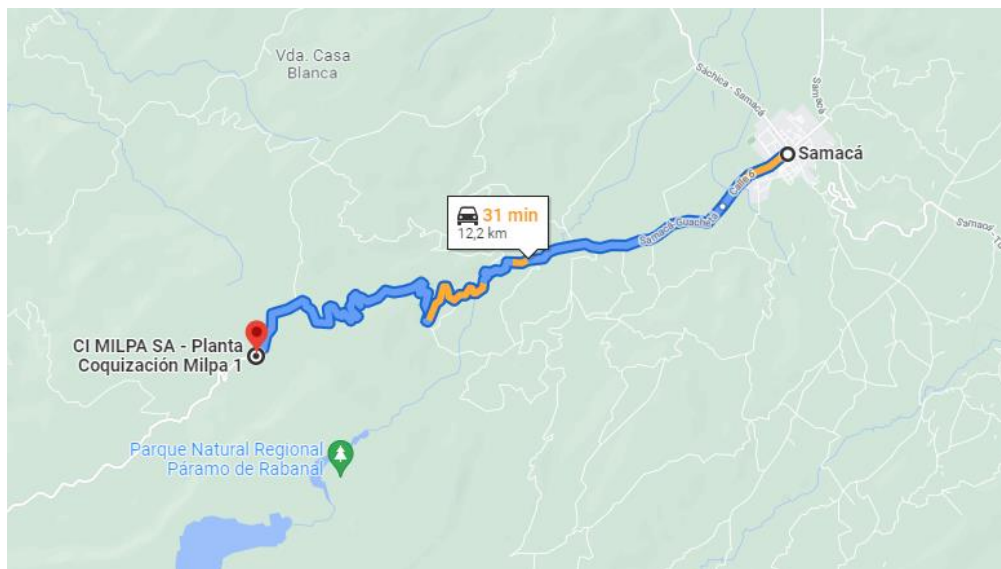
VEREDA LOMA REDONDA - SAMACÁ - BOYACÁ – COLOMBIA

PLANTA DE COQUIZACIÓN HORNOS SOLERA MILPA 1

1.2. LOCALIZACIÓN Y VIAS DE ACCESO DE LA EMPRESA

La planta de coquización hornos solera milpa 1, pertenece a la empresa C.I. MILPA S.A., pero su parte logística y de producción es desarrollada por la empresa INCARSA S.A.S., esta planta está ubicada en la vereda loma redonda a 12.2 kilómetros del casco urbano del municipio de Samacá Boyacá, en la vía que se dirige al municipio de Guacheta Cundinamarca.

Figura 1. Vía de acceso a planta de coquización hornos solera milpa 1 desde Samacá- Boyacá.



Fuente: Google Maps.

1.3. HISTORIA¹

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 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

¹ C.I. MILPA S.A. [en línea]. NUESTRA HISTORIA. Disponible en internet. <<https://www.milpa.com.co/historia.html> >

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.

Con el objetivo de fortalecer a C.I. MILPA S.A., los accionistas de la misma decidieron separar sus funciones de comercialización internacional de carbón coquizable y sus derivados, de aquellas relacionadas con explotación del mineral y su procesamiento en las diferentes plantas de producción. Para esto, crearon en el año 2000, la Industria Carbonífera de Samacá S.A. «INCARSA S.A.», 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. La cual dio continuidad a la operación de la empresa en las diferentes plantas productivas de Samacá – Boyacá. La empresa utiliza la infraestructura física y tecnológica de propiedad de C.I. MILPA S.A. para la generación de sus productos.²

1.4. MISIÓN³

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.

1.5. VISIÓN⁴

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.

1.6. PRINCIPIOS CORPORATIVOS⁵

² LINKEDIN [en línea]. C.I. MILPA S.A. Disponible en internet. < <https://co.linkedin.com/company/c-i-milpa-s-a>>

³ INCARSA S.A.S. [archivos internos]. MISIÓN. Lugar: Samacá, Boyacá

⁴ INCARSA S.A.S. [archivos internos]. VISIÓN. Lugar: Samacá, Boyacá

⁵ C.I. MILPA S.A. [en línea]. PRINCIPIOS CORPORATIVOS. Disponible en internet.

<<https://www.milpa.com.co/principios.html>>

- **HONESTIDAD:** Para que todo aquello que hacemos siempre esté enmarcado por la transparencia y la rectitud.
- **RESPECTO:** Reflejando la pasión por el desarrollo de nuestros empleados, por el equilibrio y bienestar de la sociedad, por la protección del medio ambiente, por la satisfacción de nuestros clientes, por nuestros compromisos y nuestra operación.
- **SERIEDAD:** En nuestros compromisos comerciales y en nuestro actuar empresarial, ambiental y social.
- **CUMPLIMIENTO:** De todo aquello que pensamos, hacemos y decimos.
- **CALIDAD:** En nuestros procesos productivos, en nuestro desempeño, en nuestros productos y servicios.
- **COMPROMISO:** Con nuestra gente, la comunidad, el medio ambiente, nuestros clientes, el desarrollo sostenible y nuestros principios corporativos.
- **SOLIDARIDAD:** Con nuestra gente, nuestros clientes, con las comunidades, con el país donde vivimos

2. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se plantea un acercamiento conceptual con los diferentes temas y equipos que se mencionaran a lo largo del documento, facilitando así su lectura y comprensión.

2.1. MANTENIMIENTO

El mantenimiento es la combinación de todas las acciones técnicas, administrativas y de gestión, durante el ciclo de vida de un elemento, destinada a conservarlo o devolverlo a un estado en el cual se pueda desarrollar la función requerida.⁶

2.2. GESTIÓN DE MANTENIMIENTO

Todas las actividades de la gestión que determinan los objetivos del mantenimiento, las estrategias y responsabilidades, y las realizan por medio de planificación del mantenimiento, control y supervisión del mantenimiento, mejora los métodos en la organización incluyendo los aspectos económicos.⁷

2.3. ACTIVO

Un elemento considerado formalmente como contable.⁸

2.4. FALLO

Cese en la capacidad de un elemento para desarrollar una función requerida.⁹

2.5. MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Mantenimiento ejecutado a intervalos predeterminados o de acuerdo con unos criterios prescritos, y destinado a reducir la probabilidad de fallo o la degradación de funcionamiento de un elemento.¹⁰

⁶ COMITÉ TÉCNICO AEN/CTN. [Norma]. UNE EN 13306. TÉRMINOS FUNDAMENTALES. Mantenimiento. Pág. 8. 2002.

⁷ COMITÉ TÉCNICO AEN/CTN. [Norma]. UNE EN 13306. TÉRMINOS FUNDAMENTALES. Gestión del mantenimiento. Pág. 8. 2002.

⁸ COMITÉ TÉCNICO AEN/CTN. [Norma]. UNE EN 13306. TÉRMINOS FUNDAMENTALES. Activo. Pág. 9. 2002.

⁹ COMITÉ TÉCNICO AEN/CTN. [Norma]. UNE EN 13306. PROPIEDADES DE LOS ELEMENTOS. fallo. Pág. 11. 2002

¹⁰ COMITÉ TÉCNICO AEN/CTN. [Norma]. UNE EN 13306. TIPOS Y ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO.

Mantenimiento preventivo. Pág. 13. 2002

2.6. MANTENIMIENTO PREDICTIVO

Mantenimiento basado en la condición, ejecutado siguiendo una previsión consecuencia del análisis y evaluación de los parámetros significativos de la degradación del elemento.¹¹

2.7. MANTENIMIENTO CORRECTIVO

Mantenimiento ejecutado después del reconocimiento de una avería, y destinado a llevar un elemento a un estado en el que pueda desarrollar una función requerida.¹²

2.8. MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD

El mantenimiento centrado en la confiabilidad (MCC) ó Reliability-centred Maintenance (RCM), es un proceso que se usa para determinar sistemática y científicamente qué se debe hacer para asegurar que los activos físicos continúen haciendo lo que sus usuarios desean que hagan. Ampliamente reconocido por los profesionales de mantenimiento como la forma más “costo-eficaz” de desarrollar estrategias de mantenimiento de clase mundial, lleva a mejoras rápidas, sostenidas y sustanciales en la disponibilidad y confiabilidad de planta, calidad de producto, seguridad e integridad ambiental. El MCC pone énfasis tanto en las consecuencias de las fallas como en las características técnicas de las mismas, mediante:

- Integración: De una revisión de las fallas operacionales con la evaluación de aspecto de seguridad y amenazas al medio ambiente, esto hace que la seguridad y el medio ambiente sean tenidos en cuenta a la hora de tomar decisiones en materia de mantenimiento.
- Atención: En las tareas del mantenimiento que mayor incidencia tienen en el funcionamiento y desempeño de las instalaciones, garantiza que la inversión en mantenimiento se utiliza donde más beneficio va a reportar¹³

¹¹ COMITÉ TÉCNICO AEN/CTN. [Norma]. UNE EN 13306. TIPOS Y ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO. Mantenimiento predictivo. Pág. 14. 2002

¹² COMITÉ TÉCNICO AEN/CTN. [Norma]. UNE EN 13306. TIPOS Y ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO. Mantenimiento correctivo. Pág. 14. 2002

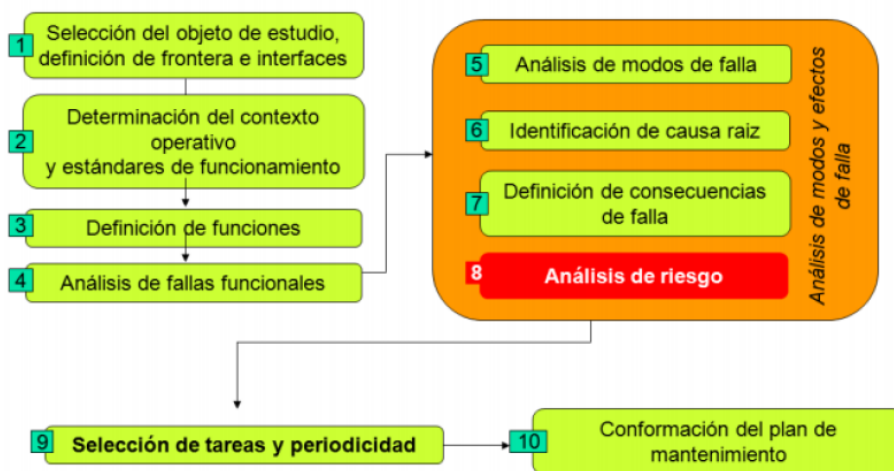
¹³ ROJAS BARAHONA RANDALL. [proyecto de grado]. PLAN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM) PARA PLANTAS DE CONCRETO EN PROYECTOS DEL ICE. Importancia del RCM. Universidad Para La Cooperación Internacional. Pág. 5. San José. Costa Rica. 2010.

El MCC, ha sido desarrollado para la industria de la aviación civil hace más de 30 años, el proceso permite determinar cuáles son las tareas de mantenimiento adecuadas para cualquier activo físico, se utiliza en miles de empresas de todo el mundo: desde grandes empresas petroquímicas hasta las principales fuerzas armadas del mundo utilizan para determinar las tareas de mantenimiento de sus equipos, incluyendo la gran minería, generación eléctrica, petróleo y derivados, metal-mecánica, etc. La norma SAE JA1011 especifica los requerimientos que debe cumplir un proceso para poder ser denominado un proceso MCC¹⁴

2.8.1. Proceso del mantenimiento centrado en la confiabilidad

El proceso consiste en una serie ordenada y lógica de pasos sistemáticamente orientados a identificar las funciones de los equipos, sus fallas funcionales, los modos y causas de fallas dominantes y sus efectos. Para cada posible modo de falla encontrado, se evalúa el riesgo y vulnerabilidad generada al sistema. De acuerdo al nivel de riesgo se conoce la criticidad de la falla y el nivel de atención necesario. En la figura 2 presenta el esquema de desarrollo de la metodología para aplicar el MCC.¹⁵

Figura 2. Diagrama de flujo del proceso RCM



¹⁴GESTIPOLIS. [en línea]. MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD. Disponible en internet <<https://www.gestiopolis.com/rcm-mantenimientocentrado-en-confiabilidad/>>

¹⁵RAMIREZ J. MORENO H. [proyecto de grado]. ELABORACIÓN DE UN ANÁLISIS DE CRITICIDAD Y DISPONIBILIDAD PARA LA ATRACCIÓN X-TREME DEL PARQUE MUNDO AVENTURA, TOMANDO COMO REFERENCIA LAS NORMAS, SAE JA1011 Y SAE JA1012. MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD. Proceso del mantenimiento centrado en confiabilidad. Universidad Distrital Francisco José De Caldas .Pág. 22.Bogota. Colombia. 2017.

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.

2.8.2. Ventajas y beneficios del mantenimiento centrado en confiabilidad

- Si el MCC se aplicará a un sistema de mantenimiento preventivo ya existente en las empresas, puede reducir la cantidad de mantenimiento rutinario habitualmente hasta un 40% a 70%.
- Si el MCC se aplicará para desarrollar un nuevo sistema de mantenimiento preventivo en la empresa, el resultado será que la carga de trabajo programada sea mucho menor que si el sistema se hubiera desarrollado por métodos convencionales.
- Su lenguaje técnico es común, sencillo y fácil de entender para todos los empleados vinculados al proceso MCC, permitiendo al personal involucrado en las tareas saber qué pueden y qué no pueden esperar de ésta aplicación y quien debe hacer qué, para conseguirlo.¹⁶

2.9. ANÁLISIS DE CRITICIDAD

El objetivo de un análisis de criticidad es establecer un método que sirva de instrumento de ayuda en la determinación de la jerarquía de procesos, sistemas y equipos de una planta compleja, permitiendo subdividir los elementos en secciones que puedan ser manejadas de manera controlada y auditable. Desde el punto de vista matemático la criticidad se puede expresar como¹⁷:

¹⁶ PICO E. [proyecto de grado]. PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD PARA LA INYECTORA DE POLIURETANO DE LA EMPRESA CALZADO MARCIA - BUFFALO INDUSTRIAL. Universidad Técnica de Ambato. Ambato. Ecuador. 2016.

¹⁷ RAMIREZ J. MORENO H. [proyecto de grado]. ELABORACIÓN DE UN ANÁLISIS DE CRITICIDAD Y DISPONIBILIDAD PARA LA ATRACCIÓN X-TREME DEL PARQUE MUNDO AVENTURA, TOMANDO COMO REFERENCIA LAS NORMAS, SAE JA1011 Y SAE JA1012. ANALISIS DE CRITICIDAD. Universidad Distrital Francisco José De Caldas .Pág. 24. Bogotá. Colombia. 2017.

$$CTR = FF * C$$

Ecuación 1. Criticidad total por riesgo.

Donde:

- CTR: Criticidad total por riesgo.
- FF: Frecuencia de fallas.
- C: Consecuencias de los eventos de fallos.

Existen varios criterios que se pueden evaluar para hallar el valor de la consecuencia algunos de ellos pueden ser:

- Seguridad (IO)
- Ambiente (IMA)
- Producción (IS)
- Costos (operacionales y de mantenimiento) (CM)
- Tiempo promedio para reparar (FO)

El establecimiento de criterios se basa en los seis criterios fundamentales nombrados anteriormente. Para la selección del método de evaluación se toman criterios de ingeniería, factores de ponderación y cuantificación. Para la aplicación de un procedimiento definido se trata del cumplimiento de la guía de aplicación que se haya diseñado. Por último, la lista jerarquizada es el producto que se obtiene del análisis. Este procedimiento se puede apreciar en la figura tres.

Figura 3. Modelo básico de análisis de criticidad.



Fuente: El Análisis de Criticidad, una Metodología para mejorar la Confiabilidad Operacional. Tomado de <http://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/el-analisis-de-criticidad-una-metodologia-para-mejorar-la-confiabilidad-ope>

Para determinar la criticidad equipo se utiliza una matriz de frecuencia por consecuencias de los eventos de fallos. En el eje vertical se representa la frecuencia de fallas y en el eje horizontal se representa las consecuencias de los eventos de fallos, esto nos dará como resultado la criticidad total por riesgo como se puede apreciar en la figura cuatro.

Figura 4. Ejemplo matriz de criticidad.



Fuente: SAE, International JA1012, A Guide to the Reliability-Centered Maintenance (RCM) Standard. Aug. 2002-01.

Emprender un análisis de criticidad tiene su máxima aplicabilidad cuando se han identificado al menos una de las siguientes necesidades:

- Fijar prioridades en sistemas complejos
- Administrar recursos escasos
- Crear valor
- Determinar impacto en el negocio
- Aplicar metodologías de confiabilidad operacional

El análisis de criticidad aplica en cualquier conjunto de procesos, plantas, sistemas, equipos y/o componentes que requieran ser jerarquizados en función de su impacto en el proceso o negocio donde formen parte. Sus áreas comunes de aplicación se orientan a establecer programas de implantación y prioridades en los siguientes campos:

- Mantenimiento
- Inspección
- Materiales
- Disponibilidad de planta
- Personal¹⁸

2.10. ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA

El Análisis del Modo y Efecto de Fallas (AMEF), es un procedimiento que permite identificar fallas en productos, procesos y sistemas, así como evaluar y clasificar de manera objetiva sus efectos, causas y elementos de identificación, para de esta forma, evitar su ocurrencia y tener un método documentado de prevención.¹⁹

¹⁸ RELIABILITYWEB.COM/ [en línea]. EL ANÁLISIS DE CRITICIDAD. Disponible en internet. <
<https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/el-analisis-de-criticidad-una-metodologia-para-mejorar-la-confiabilidad-ope>>

¹⁹ INGENIERÍA INDUSTRIAL ONLINE.COM [en línea]. ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA AMEF. Disponible en internet. <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/lean-manufacturing/analisis-del-modo-y-efecto-de-fallas-amef/>>

Para la implementación del AMEF es necesario:

- Tener a disposición planos, esquemas, catálogos e información pertinente de los EMIS a más de las experiencias del talento humano de mantenimiento, calidad y producción.
- Seleccionar los componentes fundamentales del EMI y determinar su función.
- Establecer cómo pueden fallar cada uno de los componentes seleccionados.
- Determinar cuáles son las causas por las cuales se produce la falla.
- Deducir cuáles serían las consecuencias del fallo del componente.
- Calificar de acuerdo a unas reglas sencillas la: Severidad, Ocurrencia y Detección.
- Calcular el índice de prioridad de riesgo IPR o Número de Prioridad de Riesgo NPR.
- Por último, llenar el formato para el AMEF de cada Equipo.²⁰

Para calcular el número de prioridad de riesgo (NPR) o Índice de prioridad de riesgo (IPR) se emplea la ecuación dos.

$$NPR = SEVERIDAD * OCURRENCIA * DETECCION$$

Ecuación 2. Número de prioridad de riesgo.

El Número Prioritario de Riesgo (NPR) es el valor que establece la prioridad de las fallas o los problemas a través de la multiplicación de los valores asignados al grado de ocurrencia de las fallas, la severidad y la detección de las mismas. El resultado que se obtiene determina la prioridad con la que deben ser enfrentados los problemas que han sido identificados.²¹

2.11. MODELOS MATEMÁTICOS DE CONFIABILIDAD Y DISPONIBILIDAD

²⁰ JIMÉNEZ RODRÍGUEZ LUIS ALFONSO. [Libro] MANTENIMIENTO INDUSTRIAL: CONCEPTOS Y ESTRATEGIAS. Análisis de modos y efectos de falla (AMEF). Pág. 69. 2021.

²¹ HUBSPOT [en línea]. CÓMO HACER UN AMEF PASO A PASO CON EJEMPLO. Disponible en internet. <<https://blog.hubspot.es/marketing/amef#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20es%20un%20AMEF%3F,como%20facilitar%20estrategias%20para%20eliminarlos.>>

2.11.1. Confiabilidad R(t)

Probabilidad de que un activo o componente de un EMI lleve a cabo su función en forma correcta y no presente falla durante un período de tiempo, bajo condiciones operacionales previamente definidas por el fabricante (catálogo, recomendaciones escritas o manual del Equipo).²²

A continuación se presentan un modelo matemático para la obtención de la confiabilidad:

$$C = e^{-\frac{t}{MTBF}}$$

Ecuación 3. Confiabilidad.

Donde:

- C: Es la confiabilidad expresada en porcentaje.
- E: Constante universal equivalente a 2.718281828.
- t: Tiempo de ciclo.
- MTBF: Tiempo medio entre fallas.

2.11.2. Disponibilidad D(t)

La disponibilidad es la capacidad de que un activo o componente para estar en un estado (arriba) para realizar una función requerida bajo condiciones dadas en un instante dado de tiempo o durante un determinado intervalo de tiempo, asumiendo que los recursos externos necesarios se han proporcionado.²³

A continuación se presentan un modelo matemático para la obtención de la disponibilidad:

²² JIMÉNEZ RODRÍGUEZ LUIS ALFONSO. [Libro] MANTENIMIENTO INDUSTRIAL: CONCEPTOS Y ESTRATEGIAS. Modelos matemáticos de Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad. Pág. 63. 2021.

²³ SÁNCHEZ ALFONSO [en línea]. FIABILIDAD, CONFIABILIDAD, DISPONIBILIDAD Y MANTENIBILIDAD, DEFINICIONES PARECIDAS PERO CONCEPTOS MUY DIFERENTES. Disponible en internet. < [27](https://es.linkedin.com/pulse/fiabilidad-confiabilidad-disponibilidad-y-parecidas-s%C3%A1nchez-berra#:~:text=Disponibilidad%3A%20Es%20la%20capacidad%20de,externos%20necesarios%20se%20han%20proporcionado.> ></p></div><div data-bbox=)

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

Ecuación 4. Disponibilidad.

Donde:

- D: Es la disponibilidad expresada en porcentaje.
- MTBF: Tiempo medio entre fallas.
- MTTR: Es el tiempo medio para reparar.

2.11.3. MTTR: Tiempo medio de reparación

Mean Time to Repair (MTTR) es el tiempo medio de reparación, una de las métricas más utilizadas por los gestores de mantenimiento. Como su nombre indica, el MTTR representa el tiempo medio necesario para resolver fallos y reparar el activo que sufrió una avería, devolviéndole las condiciones normales de funcionamiento. El tiempo total de mantenimiento de un equipo comienza cuando ocurre el incidente y termina cuando el activo vuelve a su función normal.

El MTTR es el resultado de tiempo total de mantenimiento correctivo a dividir por el número de operaciones de mantenimiento durante un determinado período de tiempo.²⁴

Se calcula con el modelo matemático presentado a continuación:

$$MTTR = \frac{\textit{Tiempo total de mantenimiento correctivo}}{\textit{Numero de fallas}}$$

Ecuación 5. MTTR.

2.11.4. MTBF: TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS

Mean Time Between Failures (MTBF) es el tiempo medio entre las averías de un activo, una métrica importante donde la tasa de indisponibilidad de los activos. En otras palabras,

²⁴ VALUEKEEP [en línea]. ¿QUÉ SON EL MTTR Y MTBF? Disponible en internet.
<<https://valuekeep.com/es/recursos/blog/mtrr-y-mtbf/>>

MTBF es el tiempo medio cuando el equipo funciona correctamente entre los fallos. El MTBF se convierte en un indicador de rendimiento muy importante para los activos más críticos y esta métrica no prevé ningún mantenimiento programado, como inspecciones, recalibraciones o reemplazos de piezas preventivas.

Aunque el MTTR solo afecta a la disponibilidad, el MTBF afecta tanto a la disponibilidad como a la confiabilidad.

El modelo matemático para calcular el MTBF es el siguiente:

$$MTBF = \frac{\textit{Tiempo total disponible} - \textit{Tiempo de inactividad}}{\textit{Numero de fallas}}$$

Ecuación 6. MTBF.

2.12. DIAGRAMA DE PARETO

Un diagrama de Pareto es una técnica que permite clasificar gráficamente la información de mayor a menor relevancia, con el objetivo de reconocer los problemas más importantes en los que se debe enfocar y solucionar.

Esta técnica se basa en el principio de Pareto o regla 80/20, la cual establece una relación de correspondencia entre los grupos 80-20, donde el 80 % de las consecuencias provienen del 20 % de las causas.

El diagrama de Pareto, también conocido como curva de distribución ABC, consiste en una gráfica que clasifica los aspectos relacionados con una problemática y los ordena de mayor a menor frecuencia, con lo que permite visualizar de forma clara cuál es la causa principal de una consecuencia.²⁵

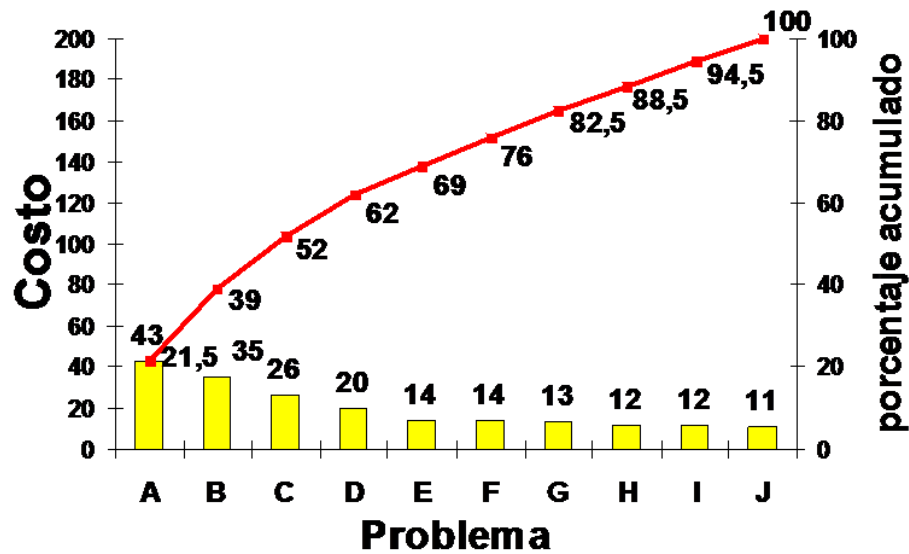
Un diagrama de Pareto se puede emplear para por ejemplo:

- Para analizar los datos sobre la frecuencia de problemas o de causas en un proceso.

²⁵ QUESTIONPRO [en línea]. ¿QUÉ ES EL DIAGRAMA DE PARETO? Disponible en internet. <
<https://www.questionpro.com/blog/es/diagrama-de-pareto/> >

- Cuando son muchos problemas o causas y se desea centrarse en los más importantes.
- Cuando se desea analizar las causas de un problema enfocándose en sus componentes específicos.²⁶

Figura 5. Diagrama de Pareto.



Fuente: CALIDAD Y ADR [en línea]. DIAGRAMA DE PARETO. Disponible en internet. < <https://aprendiendocalidadyadr.com/diagrama-de-pareto/> >

²⁶ CALIDAD Y ADR [en línea]. DIAGRAMA DE PARETO. Disponible en internet. < <https://aprendiendocalidadyadr.com/diagrama-de-pareto/> >

3. EQUIPOS Y DIAGRAMA DEL PROCESO DE COQUIZACIÓN

La planta de coquización hornos solera Milpa 1, cuenta en sus instalaciones con diferentes componentes mecánicos, hidráulicos, neumáticos, eléctricos y electrónicos que son utilizados en el proceso de coquización entre los que se encuentran tolvas dosificadoras, bandas transportadoras, estampadoras, llenadoras, carros quita puertas, deshornadoras, locomotoras, cribas vibratorias, etc.

Los equipos utilizados el proceso de coquización desde la alimentación de carbón hasta el despacho de coque se encuentran en la tabla uno, donde se especifica su ubicación en la planta y si el equipo interfiere con el carbón o con el coque.

Tabla 1. Equipos.

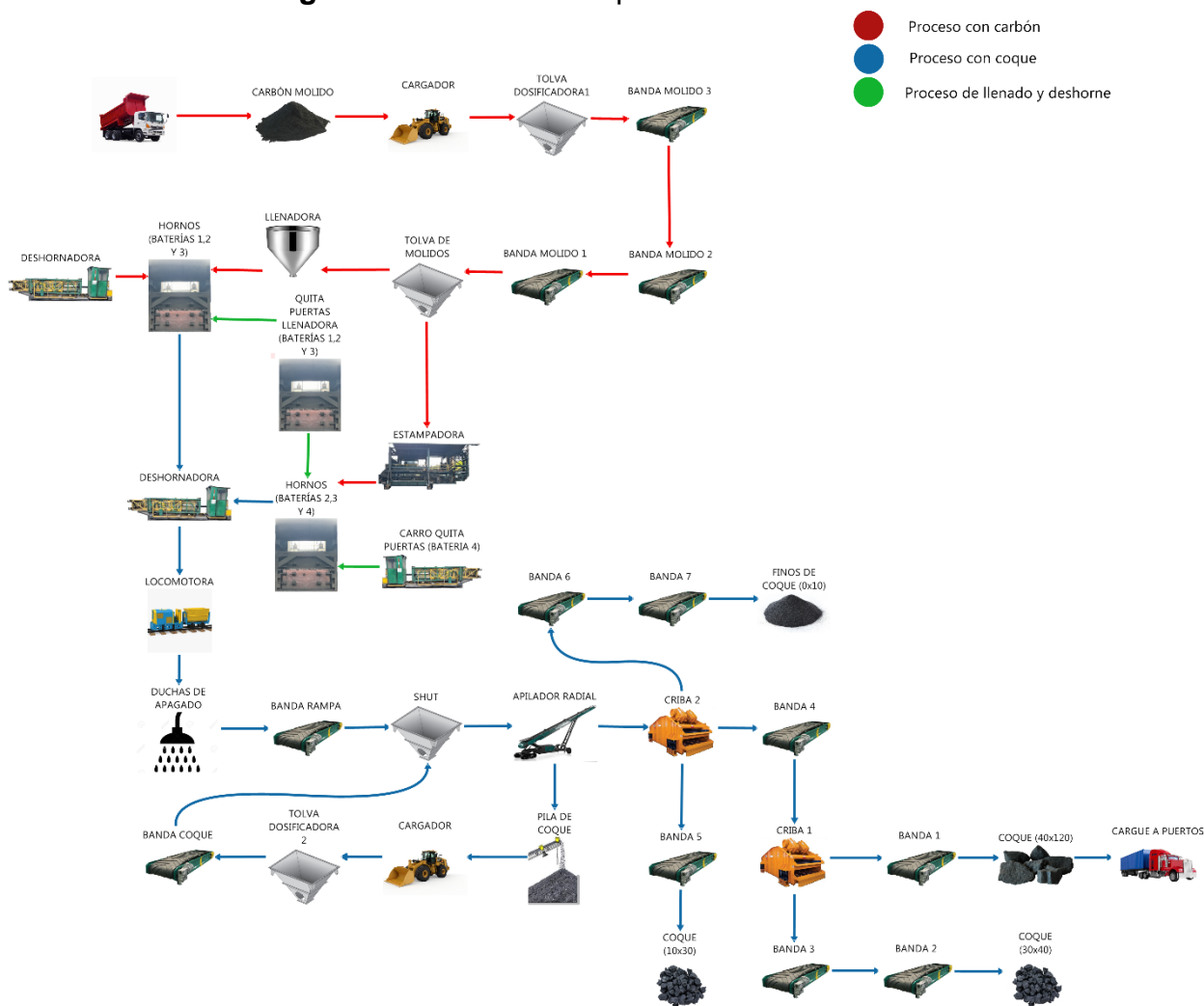
	Equipo	Ubicación	Proceso
1	Estampadora	Hornos de coquizar	Carbón
2	Locomotora De Apagado	Hornos de coquizar	Coque
3	Tolva Llenadora	Hornos de coquizar	Carbón
4	Banda 1 Molido	Hornos de coquizar	Carbón
5	Tolva Dosificadora 1	Hornos de coquizar	Carbón
6	Carro Quita Puertas Lado Coque	Hornos de coquizar	Coque
7	Deshornadora 1	Hornos de coquizar	Carbón y coque
8	Deshornadora 2	Hornos de coquizar	Carbón y coque
9	Banda 2 Molido	Hornos de coquizar	Coque
10	Banda 3 Molido	Hornos de coquizar	Coque
11	Carro Quita Puertas Lado Carbón	Hornos de coquizar	Carbón y coque
12	Torre De Apagado	Hornos de coquizar	Coque
13	Apilador Radial	Clasificación y cargue	Coque
14	Criba 1	Clasificación y cargue	Coque
15	Banda 7	Clasificación y cargue	Coque
16	Banda 6	Clasificación y cargue	Coque
17	Banda 5	Clasificación y cargue	Coque
18	Banda 4	Clasificación y cargue	Coque
19	Banda 3	Clasificación y cargue	Coque
20	Banda 2	Clasificación y cargue	Coque

21	Banda 1	Clasificación y cargue	Coque
22	Criba 2	Clasificación y cargue	Coque
23	Banda Rampa	Clasificación y cargue	Coque
24	Banda Pescador	Clasificación y cargue	Coque
25	Tolva Dosificadora 2	Clasificación y cargue	Coque

Fuente: Autor.

Para conocer más afondo el proceso de transformación del carbón a coque se realizó un diagrama en el cual se aprecia la secuencia de los equipos involucrados en el proceso de coquización, desde la llegada del carbón molido hasta el despacho de coque, este diagrama se encuentra en la siguiente figura.

Figura 6. Proceso de coquización hornos solera.



Fuente: Autor.

A continuación, se describen brevemente los equipos y la función en el proceso.

3.1. BANDA TRANSPORTADORA

La banda o cinta transportadora es un componente incorporado mayormente en la industria, su función es mover o trasladar de un lugar a otro los materiales utilizados en el procedimiento de fabricación de un producto, haciendo que el ritmo de trabajo avance de manera rápida y no se vea perjudicado el costo de operaciones debido al tiempo de más invertido en diferentes actividades.

Las bandas transportadoras se mueven con rodillos o tambores y dos o más bidones que transportan los materiales; para mejorar sus capacidades pueden contar con barandillas, guardas laterales, ruedas o cualquier otro accesorio mecánico dependiendo del procedimiento y la materia que desee realizar la industria en cuestión.²⁷

Figura 7. Banda transportadora.



Fuente: Autor.

3.2. LOCOMOTORA DE APAGADO

La locomotora de apagado es el equipo encargado del transporte de coque recién extraído del horno a altas temperaturas hasta su lugar de enfriamiento, este equipo se compone de una locomotora impulsada por un motor diésel y tres vagones metálicos los

²⁷ SDI INDUSTRIAL STORE. [en línea]. ¿CÓMO FUNCIONA UNA BANDA TRANSPORTADORA? Disponible en internet. <<https://sdindustrial.com.mx/blog/bandas-transportadoras/#%C2%BFQue-es-una-banda-transportadora>>

cuales tienen una capacidad de transportar entre 15 y 20 toneladas de coque aproximadamente. Este equipo se encuentra expuesto a cambios de temperatura bruscos, ya que en él se transporta coque a una temperatura de 1200°C para su posterior apagado con agua.

Figura 8. Vagón locomotora de apagado.



Fuente: Autor.

3.3. TOLVA LLENADORA

La tolva llenadora es uno de los equipos encargados de alimentar de carbón a los hornos de coquización por la parte superior. La llenadora es un equipo que consta de tres tolvas metálicas, las cuales por medio de 4 carretones que están conectados entre sí por un cardan, piñones, cadena y un motor eléctrico que es el cual genera el movimiento para que sea posible su desplazamiento. Este equipo se encuentra suspendido en rieles elevados sobre los cuales se desplaza para alimentar cualquier horno, una vez se encuentra sobre el horno a alimentar se retiran unas compuertas ubicadas en la parte inferior de las tolvas y se accionan vibradores para que toda la carga almacenada sea transferida en su totalidad.

Además de estar encargada de alimentar a los hornos, la llenadora cuenta con un sistema compuesto por malacates pequeños que se encargan de retirar las puertas laterales de los diferentes hornos ubicados en la planta.

3.4. TOLVA DOSIFICADORA

La tolva dosificadora es un contenedor en forma de cono invertido que termina con una abertura mucho más pequeña que el diámetro de la parte de arriba, a diferencia de las

tolvas normales este equipo cuenta en su salida con un mecanismo que genera que una compuerta cierre y habrá la salida de material con el fin de disminuir el flujo de material. El mecanismo encargado de dosificar la salida de material es un mecanismo de 4 barras manivela corredera.

Figura 9. Tolva dosificadora.



Fuente: Autor.

3.5. CARRO QUITA PUERTAS

El carro quita puertas como lo indica su nombre es un equipo encargado de la remoción de las puertas de las baterías de hornos más nuevas, este se compone de un chasis metálico que se desplaza sobre una carrilera a nivel del piso, un brazo el cual se mueve por medio de un sistema de piñón cremallera que se utiliza para la extracción de las puertas y un sistema hidráulico que se encarga de elevar todo el cuerpo del equipo para que sea posible el desacoplamiento y acoplamiento de las puertas en los hornos.

Figura 10. Carro quita puertas lado carbón.



Fuente: Autor.

3.6. APILADOR RADIAL

El apilador radial es un equipo conformado por 2 bandas transportadoras de las cuales una de ellas es telescópica y se desplaza por medio de un malacate, se denomina apilador radial ya que está anclado en unos de sus extremos a un eje de rotación por lo cual este equipo se desplaza girando sobre su eje formando una circunferencia, con este equipo se busca transportar el material a diferentes alturas y distancias ya que también cuenta con un sistema hidráulico el cual hace que cambie la altura final de la banda telescópica.

Figura 11. Apilador radial.



Fuente: <https://www.skecon.com/es/productos/transportador-apilador/apilador-telesc%C3%B3pico-radial.html>.

3.7. DESHORNADORA

La deshornadora es uno de los equipos más importantes de la planta de coquizar ya que se encarga principalmente de la extracción de coque de los hornos empujándolo a los vagones de la locomotora, además de ello, este equipo también se encarga de nivelar el carbón introducido por medio de la tolva llenadora en los hornos para así obtener un coque de mayor calidad. Principalmente se compone de un chasis metálico el cual se desplaza sobre una carrillera a un lado de los hornos y cuenta con uno o más brazos los cuales en su extremo poseen un escudo el cual sirve para empujar el coque o nivelar el carbón, la deshornadora también cuenta con un sistema hidráulico para variar su altura.

Los brazos pueden ser desplazados por medio de sistemas piñón cremallera o malacates.

Figura 12. Deshornadora.



Fuente: Autor.

3.8. ESTAMPADORA

La estampadora al igual que la tolva llenadora es uno de los equipos encargados de alimentar los hornos de carbón, pero a diferencia de la llenadora este equipo introduce el carbón ya compactado por las puertas laterales de los hornos. Este equipo es el más complejo que posee la planta ya que se encarga de crear una torta de carbón compactado para luego introducirlo a los hornos por medio de una bandeja metálica. Este equipo se compone de un chasis metálico que se desplaza al igual que los anteriores equipos sobre una carrilera al costado de los hornos, el carbón es recibido por medio de una banda transportadora móvil que se encarga de alimentar un tolvin el cual alimenta una bandeja metálica, sobre la cual se compactara el carbón por medio de pisones para su posterior inserción a los hornos.

Figura 13. Estampadora.



Fuente: Autor.

3.9. TORRE DE APAGADO

La torre de apagado es un espacio en el cual el coque se refrigera para disminuir su temperatura a temperatura ambiente, se compone principalmente de sistema de bombeo de agua, con el cual se alimentan diferentes duchas que apagan el coque por medio de agua para su posterior clasificación.

Figura 14. Torre de apagado.



Fuente: Autor.

3.10. CRIBA

También llamadas zarandas o harneros, una criba vibrante está formada por un chasis vibrante que soporta en su interior una o varias superficies o elementos de cribado.

Las cribas sirven para clasificar las partículas por tamaños a partir de un producto a granel en un proceso en continuo, el producto avanza desde la parte en la que se alimenta la criba hasta el extremo contrario en el que salen las partículas por separado según su tamaño. También hay cribas vibrantes que se cargan por el centro y el producto avanza de forma radial hasta las salidas que están en la periferia.

El avance del producto para que el proceso sea continuo es debido a la vibración si la superficie de cribado es horizontal. La mayor parte de las cribas tiene cierta inclinación de tal forma que el movimiento de avance del producto se debe a una combinación entre la gravedad y la vibración.²⁸

Figura 15. Criba.



Fuente: <https://elginseparationsolutions.com/wp-content/uploads/2019/03/ESS-Tabor-Product-Sheet-2018-Spanish.pdf>

²⁸ ROLLIER. [en línea]. CONCEPTOS BÁSICOS DE LAS CRIBAS VIBRANTES. Disponible en internet. <<https://rollier.com/es/que-son-como-funcionan-para-que-sirven-las-cribas-vibrantes/>>

4. RECOPIACIÓN DE FALLAS Y COSTOS

Para la implementación del análisis de criticidad a los equipos de la planta de coquización hornos solera Milpa 1 es de vital importancia conocer el número de fallas, tiempo de reparación y costos de mantenimiento de los equipos, para así determinar los criterios que ayudaran a calcular la criticidad total por riesgo y generar las hojas de vida correspondiente a cada equipo, dichas hojas de vida se pueden apreciar en el anexo A.

El tiempo de estudio para la recolección de información corresponde a los meses comprendidos entre septiembre del año 2020 y septiembre del año 2021, estos datos se presentan en la tabla 2.

Tabla 2. Fallas por equipo en la planta de coquización hornos solera Milpa 1.

Equipo	2020					2021								Total Fallas
	S E P	O C T	N O V	D I C	E N E	F E B	M A R	A B R	M A Y	J U N	J U L	A G O	S E P	
Estampadora	8	6	3	6	6	3	3	2	1	2	5	2	5	52
Tolva Llenadora	0	3	1	0	0	2	0	1	0	4	2	2	3	18
Deshornadora 2	2	2	0	1	1	1	1	0	2	0	1	2	2	15
Locomotora De Apagado	2	1	0	4	0	0	1	0	2	2	0	0	1	13
Deshornadora 1	2	2	2	1	1	0	0	0	1	0	1	0	2	12
Banda Rampa	0	1	0	1	0	0	2	2	0	0	0	0	4	10
Apilador Radial	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	1	1	0	8
Banda 6	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	5
Criba 1	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	5
Carro Quita Puertas Lado Carbón	2	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	5
Banda 5	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	4
Carro Quita Puertas Lado Coque	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	4
Banda 1 Molido	0	0	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	3
Banda 7	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	3
Banda 1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	3

Banda 3	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3
Criba 2	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	3
Torre De Apagado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	2
Banda 4	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Banda 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
Tolva Dosificadora 1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Banda Pescador	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Banda 2 Molido	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Banda 3 Molido	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tolva Dosificadora 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: Autor.

Una vez recopiladas todas las fallas de los equipos en el determinado tiempo de estudio y anexado en las hojas de vida la descripción de cada intervención llevada a cabo por el equipo de mantenimiento, se recopiló los costos de insumos entregados por el almacén para realizar cada una de las reparaciones.

Tabla 3. Costos de mantenimiento por equipo en la planta de coquización hornos solera Milpa 1.

Equipo	Costos de mantenimiento
Locomotora De Apagado	\$ 79.216.472,25
Estampadora	\$ 67.743.827,92
Criba 1	\$ 30.504.266,78
Apilador	\$ 23.723.520,24
Llenadora	\$ 16.852.988,70
Deshornadora 2	\$ 13.730.562,14
Criba 2	\$ 12.650.777,11
Torre De Apagado	\$ 9.190.097,02
Deshornadora 1	\$ 6.959.635,65
Carro Quita Puertas Lado Coque	\$ 5.800.089,62
Banda Rampa	\$ 4.094.612,08
Tolva Dosificadora 1	\$ 2.559.317,57
Banda Molido 1	\$ 888.846,20

Banda 4	\$	862.709,00
Banda 5	\$	826.343,00
Banda Molido 3	\$	553.257,39
Banda 1	\$	209.289,17
Carro Quita Puertas Lado Carbón	\$	154.872,00
Banda 6	\$	137.509,00
Banda 7	\$	137.509,00
Banda Pescador	\$	64.028,04
Banda 3	\$	21.632,37
Tolva Dosificadora 2	\$	12.709,00
Banda 2	\$	12.709,00
Banda Molido 2	\$	12.709,00
Costos totales	\$	276.920.289,25

Fuente: Autor.

Como se puede apreciar en la tabla tres se encuentran equipos que no han presentado ningún fallo pero si tienen costos de mantenimiento, esto se debe a que el almacén como tal ya despacho insumos para dicho equipo pero aún no se ha realizado la intervención o no se encontró documentada. Estos costos de mantenimiento son de vital importancia ya que en base a ello se dará valor al criterio de costos para la implementación del análisis de criticidad.

5. IMPLEMENTACIÓN DEL ANÁLISIS DE CRITICIDAD

El uso de las técnicas de análisis de criticidad y jerarquización son herramientas que permiten identificar el nivel de criticidad de los activos de una instalación industrial y ayudan a direccionar los recursos: humanos, económicos y tecnológicos de una forma más eficaz. Dicho de otra manera, el proceso de análisis de criticidad ayuda a determinar la importancia y las consecuencias de las fallas de los equipos productivos en el contexto operacional en el cual se desempeñan.²⁹

Estudiando los datos recopilados de cada equipo de la planta de coquización hornos solera Milpa 1 y evaluando diferentes técnicas de análisis de criticidad como: Modelo de criticidad semicuantitativo “CTR” (criticidad total por riesgo). Modelo de criticidad semicuantitativo “MCR” (matriz de criticidad por riesgo), etc. Sé llego a la conclusión que el método más acorde para la implementación del análisis de criticidad es Matriz de Criticidad Cualitativa de Riesgo MCCR.

En las evaluaciones de riesgo industrial, se combinan la probabilidad/frecuencia de que se produzca un evento de fallo con el impacto que el evento de fallo causaría, tanto en la producción costos de reparación y mano de obra. Las técnicas de evaluación de riesgos se pueden usar para priorizar los equipos/activos y alinear las acciones de mantenimiento a los objetivos claves del negocio. Al realizar esto, se asegura de que las acciones de mantenimiento sean eficaces desde el punto de vista de los principales costos asociados al mantenimiento y lo más importante sean eficientes para minimizar las consecuencias sobre la seguridad, el ambiente, las pérdidas por penalización en producción, y, en última instancia, sobre la insatisfacción del cliente.³⁰

5.1. CALCULO DE CRITICIDAD

Tomando como referencia a Parra Carlos en su artículo de investigación “Técnica de Jerarquización de Activos MCCR: Matriz de Criticidad Cualitativa de Riesgo”, se establecen los factores de frecuencia y consecuencias asociados a los impactos

²⁹ P. CARLOS, R. JUAN. [Papper]. INGEMAN.Técnica de Jerarquización de Activos MCCR: Matriz de Criticidad Cualitativa de Riesgo. Pág. 1. 2021.

³⁰ P. CARLOS, R. JUAN. [Papper]. INGEMAN.Técnica de Jerarquización de Activos MCCR: Matriz de Criticidad Cualitativa de Riesgo. Pág. 4. 2021.

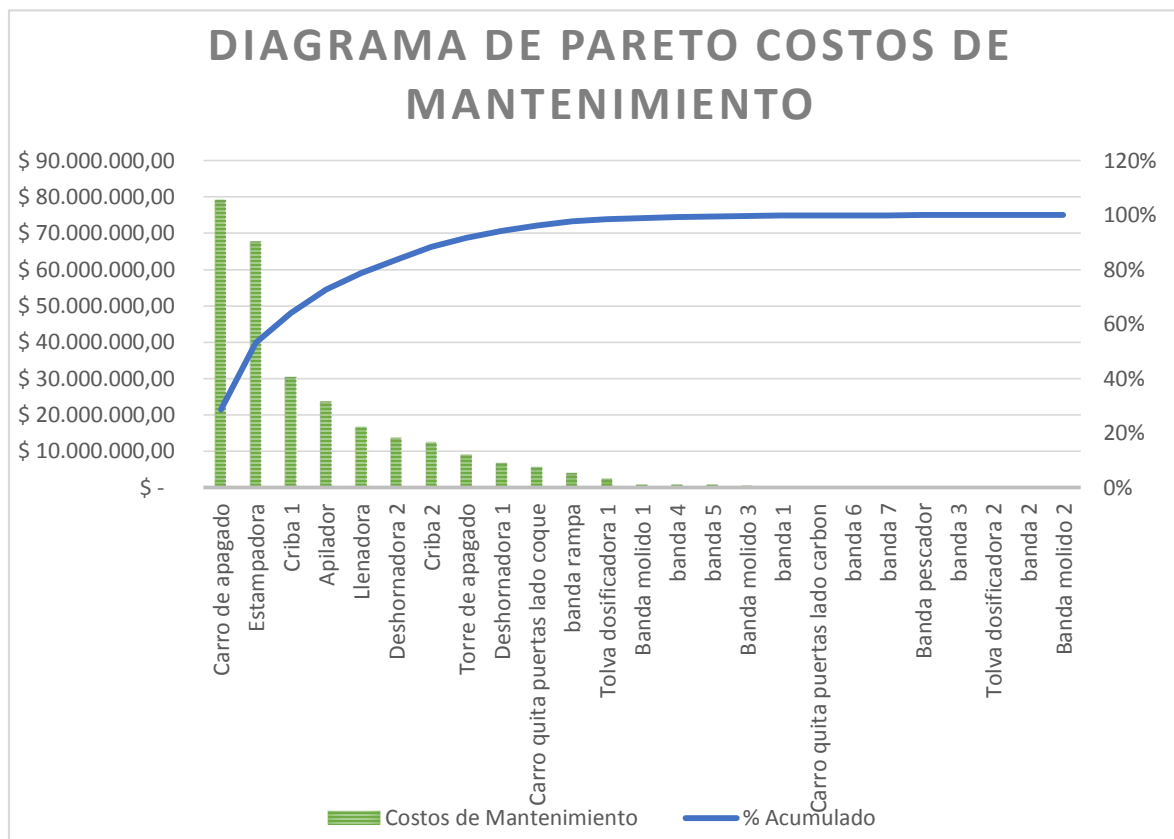
operacionales, flexibilidad operacional, costos de mantenimiento, impacto en la seguridad e impacto ambiental. Para este caso de estudio en particular se realizó un diagrama de Pareto con el fin de establecer el límite en el cual el costo de mantenimiento del equipo se considera alto o bajo.

Tabla 4. Valores diagrama de Pareto costos.

Equipo	Costos de Mantenimiento	%	% Acumulado
Locomotora de apagado	\$ 79.216.472,25	29%	29%
Estampadora	\$ 67.743.827,92	24%	53%
Criba 1	\$ 30.504.266,78	11%	64%
Apilador	\$ 23.723.520,24	9%	73%
Llenadora	\$ 16.852.988,70	6%	79%
Deshornadora 2	\$ 13.730.562,14	5%	84%
Criba 2	\$ 12.650.777,11	5%	88%
Torre de apagado	\$ 9.190.097,02	3%	92%
Deshornadora 1	\$ 6.959.635,65	3%	94%
Carro quita puertas lado coque	\$ 5.800.089,62	2%	96%
Banda rampa	\$ 4.094.612,08	1%	98%
Tolva dosificadora 1	\$ 2.559.317,57	1%	99%
Banda molido 1	\$ 888.846,20	0%	99%
Banda 4	\$ 862.709,00	0%	99%
Banda 5	\$ 826.343,00	0%	100%
Banda molido 3	\$ 553.257,39	0%	100%
Banda 1	\$ 209.289,17	0%	100%
Carro quita puertas lado carbón	\$ 154.872,00	0%	100%
Banda 6	\$ 137.509,00	0%	100%
Banda 7	\$ 137.509,00	0%	100%
Banda pescador	\$ 64.028,04	0%	100%
Banda 3	\$ 21.632,37	0%	100%
Tolva dosificadora 2	\$ 12.709,00	0%	100%
Banda 2	\$ 12.709,00	0%	100%
Banda molido 2	\$ 12.709,00	0%	100%

Fuente: Autor.

Figura 16. Diagrama de Pareto para costos de mantenimiento.



Fuente: Autor.

Como se puede apreciar en la figura 16 el 80% de los costos de mantenimiento lo representa el 20% de los equipos de la planta, por lo tanto se puede concluir que el límite de costos de mantenimiento es de \$ 15.000.000 aproximadamente, este valor indicara si un equipo tiene costo de mantenimiento alto o bajo. Los factores que influirán en el cálculo de la criticidad son los siguientes.

Tabla 5. FF: frecuencias de fallos.

Frecuencia de fallas F	Fallas por mes	Valor
Alto	> 4	4
Medio	3 a 4	3
Bajo	1 a 2	2
Sin Impacto	< 1	1

Fuente: P. CARLOS, R. JUAN. [Papper]. INGEMAN. Técnica de Jerarquización de Activos MCCR: Matriz de Criticidad Cualitativa de Riesgo. Pág. 6. 2021.

Tabla 6. OI: factor de impacto operacional.

Factor impacto operacional (OI)	Consecuencias	Escala
Extremadamente Alto	Pérdida total de producción de toda planta	10
Alto	Pérdida de producción de un proceso importante	8
Medio	Pérdida parcial de un proceso de producción	5
Bajo	Pérdidas menores de proceso de producción	3
Sin Impacto	No genera ningún impacto en la producción	1

Fuente: P. CARLOS, R. JUAN. [Papper]. INGEMAN. Técnica de Jerarquización de Activos MCCR: Matriz de Criticidad Cualitativa de Riesgo. Pág. 6. 2021.

Tabla 7. OF: factor de flexibilidad operativa.

Flexibilidad operacional (OF)	Consecuencias	Escala
Alta	Sin respaldo ni procedimiento operacional alternativo	4
Promedio	Función de respaldo compartida	2
Baja	Función de respaldo disponible	1

Fuente: P. CARLOS, R. JUAN. [Papper]. INGEMAN. Técnica de Jerarquización de Activos MCCR: Matriz de Criticidad Cualitativa de Riesgo. Pág. 6. 2021.

Tabla 8. MC: factor de costo del mantenimiento.

Costos de mantenimiento (MC)	Consecuencias	Escala
Alto	≥ \$15.000.000	2
Bajo	< \$15.000.000	1

Fuente: P. CARLOS, R. JUAN. [Papper]. INGEMAN. Técnica de Jerarquización de Activos MCCR: Matriz de Criticidad Cualitativa de Riesgo. Pág. 6. 2021.

Tabla 9. SEI: factor de impacto en la seguridad y el medio ambiente.

SEI	Consecuencias	Escala
------------	----------------------	---------------

Extremadamente alto	Impacto ambiental catastrófico externo e interno/ Pérdidas de vidas (muerte) requiriendo notificación a instituciones públicas	8
alto	Impacto ambiental irreversible/Daño físico importante a las personas	6
medio	Impacto ambiental reversible/Daños físicos menores	4
Bajo	Accidentes e incidentes menores (recuperables)	2
Sin Impacto	No hay afectación en humanos, ambiente o instalaciones operacionales	1

Fuente: P. CARLOS, R. JUAN. [Paper]. INGEMAN. Técnica de Jerarquización de Activos MCCR: Matriz de Criticidad Cualitativa de Riesgo. Pág. 6. 2021.

El cálculo de la criticidad se realiza a partir de los factores de frecuencia y consecuencia establecidos en las tablas cinco, seis, siete, ocho y nueve respectivamente, este procedimiento consiste en el producto entre la frecuencia de fallos (FF) y la consecuencia (C), posteriormente dicho resultado se relacionara dentro de la matriz de criticidad (figura 17).

La consecuencia de los eventos de fallo está dada por la siguiente ecuación:

$$C = (IO * OF) + MC + SEI$$

Ecuación 7. Consecuencia de los eventos de fallo.

Donde:

- C: Es la consecuencia.
- IO: Es el factor de impacto operacional.
- OF: Es el factor de flexibilidad operacional.
- MC: Es el factor de costos de mantenimiento.
- SEI: Es el factor de impacto en la seguridad y el medio ambiente.

En base a la ecuación siete los valores de importancia asignados en la MCCR son los siguientes:

- OI x OF representa el 80% del valor total de las consecuencias.

- MC representa el 4% del valor total de las consecuencias.
- SEI representa el 16% del valor total de las consecuencias.

La matriz de criticidad mostrada a continuación permite jerarquizar los equipos en tres áreas:

- Área de equipos no críticos, color verde, valores $1 \leq \text{CTR} \leq 40$.
- Área de equipos semi-críticos, color amarillo, valores $40 < \text{CTR} < 80$.
- Área de equipos críticos, color rojo, valores $80 \leq \text{CTR} \leq 200$.

Figura 17. Matriz de criticidad.

F R E C U E N C I A	4	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	96	100	104	108	112	116	120	124	128	132	136	140	144	148	152	156	160	164	168	172	176	180	184	188	192	196	200
	3	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75	78	81	84	87	90	93	96	99	102	105	108	111	114	117	120	123	126	129	132	135	138	141	144	147	150
	2	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60	62	64	66	68	70	72	74	76	78	80	82	84	86	88	90	92	94	96	98	100
	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
	A	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50

Fuente: Autor.

A continuación, se presenta los resultados de la aplicación del modelo MCCR desarrollado en la planta de coquización hornos solera Milpa 1 dividido en sus dos áreas, hornos de coquización y clasificación y cargue. Cabe resaltar que el factor FF de cada equipo se basa en el valor máximo de fallas (F) presentado en un mes, pasa así cumplir con los valores establecidos en la tabla cinco.

Tabla 10. Calculo criticidad de equipos área hornos de coquización.

Equipo	F	IO	OF	MC	SEI	FF	C	CTR	Riesgo
Estampadora	8	8	2	2	4	4	22	88	CRITICO
Locomotora de apagado	4	8	2	2	4	3	22	66	SEMI-CRITICO
Llenadora	4	8	2	2	4	3	22	66	SEMI-CRITICO
Banda 1 molido	2	8	4	1	2	2	35	70	SEMI-CRITICO
Tolva dosificadora 1	1	8	4	1	2	2	35	70	SEMI-CRITICO
Carro quita puertas lado coque	1	5	4	1	6	2	27	54	SEMI-CRITICO
Deshornadora 1	2	5	4	1	4	2	25	50	SEMI-CRITICO
Deshornadora 2	2	8	2	1	4	2	21	42	SEMI-CRITICO

Banda 2 molido	0	8	4	1	2	1	35	35	NO CRITICO
Banda 3 molido	0	8	4	1	2	1	35	35	NO CRITICO
Carro quita puertas lado carbón	2	5	2	1	6	2	17	34	NO CRITICO
Torre de apagado	1	5	2	1	2	2	13	26	NO CRITICO

Fuente: Autor.

Como se aprecia en la tabla 10, el equipo de mayor criticidad dentro del área de hornos solera, esto se debe en su mayoría a la cantidad de fallos presentados, su impacto operacional y costos de mantenimiento. Los modos de fallo se relacionaran más adelante en el apartado AMEF.

Tabla 11. Calculo criticidad de equipos área clasificación y cargue.

Equipo	F	IO	OF	MC	SEI	FF	C	CTR	Riesgo
Apilador radial	1	10	4	2	2	2	44	88	CRITICO
Criba 1	1	10	4	2	2	2	44	88	CRITICO
Banda 7	1	10	4	1	2	2	43	86	CRITICO
Banda 6	1	10	4	1	2	2	43	86	CRITICO
Banda 5	1	10	4	1	2	2	43	86	CRITICO
Banda 4	1	10	4	1	2	2	43	86	CRITICO
Banda 1	1	10	4	1	2	2	43	86	CRITICO
Banda 2	1	10	4	1	2	2	43	86	CRITICO
Banda 3	1	10	4	1	2	2	43	86	CRITICO
Criba 2	1	10	4	1	2	2	43	86	CRITICO
Banda rampa	4	8	2	1	2	3	19	57	SEMI-CRITICO
Banda pescador	1	8	2	1	2	2	19	38	NO CRITICO
Tolva dosificadora 2	0	8	2	1	2	1	19	19	NO CRITICO

Fuente: Autor.

En el área de clasificación y cargue se puede apreciar que ocho equipos son críticos esto se debe principalmente a su impacto operacional y flexibilidad operacional, ya que estos equipos se encuentran comunicados en serie por lo tanto si se presenta una falla se debe detener todo el proceso de clasificación del coque. Los modos de fallos de algunos de estos equipos se verán en el apartado AMEF.

6. DIAGRAMA DE PARETO

Como se ha venido desarrollando a largo del presente proyecto, la razón más importante para realizar este tipo de análisis se basa en establecer las bases de la implementación en el futuro del mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM), así mismo la reducción de fallas, costos y mantener la seguridad en la planta. Partiendo de lo anterior se realizara un diagrama de Pareto con el fin de hallar los equipos que representan el 80% de las fallas totales para así compararlos con los equipos críticos y seleccionar aquellos a los cuales se les aplicara la metodología AMEF.

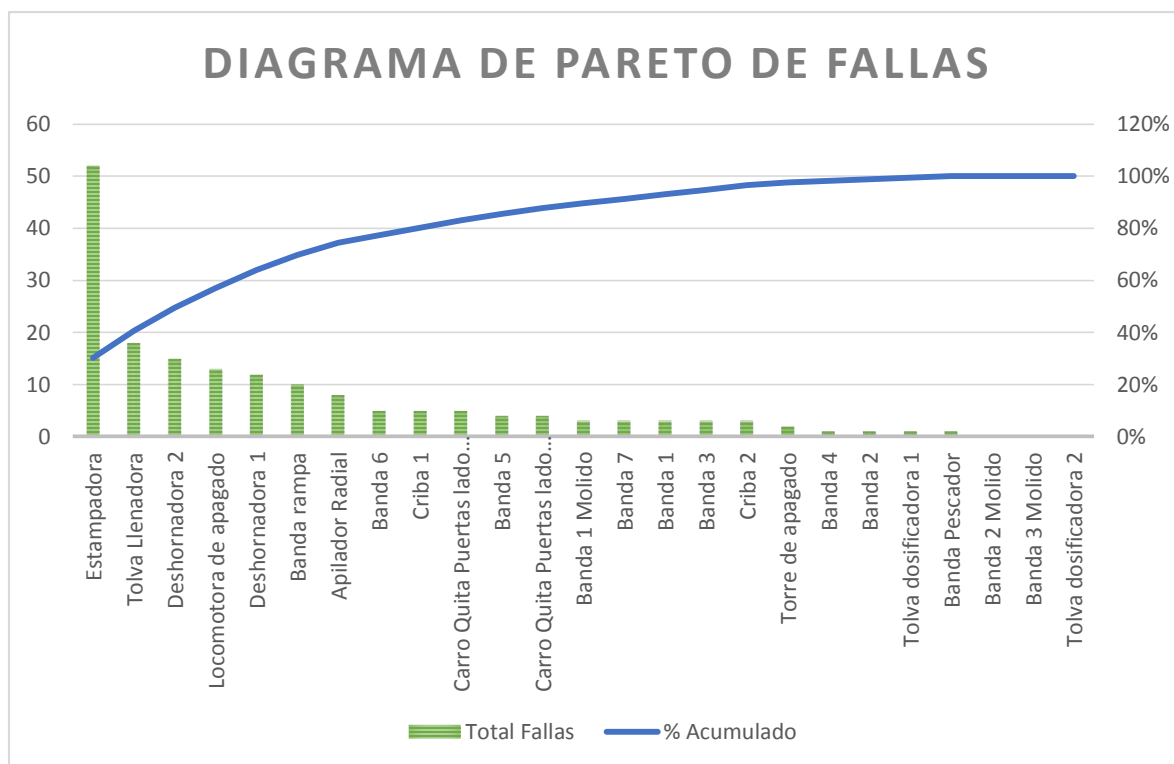
Tabla 12. Valores diagrama de Pareto fallas.

Equipo	Total Fallas	% del equipo	% Acumulado
Estampadora	52	30%	30%
Tolva llenadora	18	10%	41%
Deshornadora 2	15	9%	49%
Locomotoras de apagado	13	8%	57%
Deshornadora 1	12	7%	64%
Banda rampa	10	6%	70%
Apilador radial	8	5%	74%
Banda 6	5	3%	77%
Criba 1	5	3%	80%
Carro quita puertas lado carbón	5	3%	83%
Banda 5	4	2%	85%
Carro quita puertas lado coque	4	2%	88%
Banda 1 molido	3	2%	90%
Banda 7	3	2%	91%
Banda 1	3	2%	93%
Banda 3	3	2%	95%
Criba 2	3	2%	97%
Torre de apagado	2	1%	98%
Banda 4	1	1%	98%
Banda 2	1	1%	99%
Tolva dosificadora 1	1	1%	99%

Banda pescador	1	1%	100%
Banda 2 molido	0	0%	100%
Banda 3 molido	0	0%	100%
Tolva dosificadora 2	0	0%	100%

Fuente: Autor.

Figura 18. Diagrama de Pareto de fallas.



Fuente: Autor.

Como se aprecia en la figura 18 o tabla 12, tres equipos no han presentado fallos dentro del tiempo de análisis tomado, lo que indica que las estrategias de mantenimiento para estos equipos han sido las adecuadas o las condiciones de trabajo no son de igual magnitud a equipos similares. Sin embargo, más del 85% de los equipos han presentado fallos dentro de los meses comprendidos entre septiembre del 2020 a septiembre del 2021. Pero el estudio se centrará en los equipos que representan el 80% de las fallas totales de la planta, es de vital importancia comprender que muchos de los equipos críticos son similares por lo tanto compartirán el mismo AMEF, de lo anterior se llegó a la conclusión que los equipos a los cuales se les aplicará la metodología AMEF son los siguientes.

Tabla 13. Equipos a los cuales se les aplicará AMEF.

Equipo	Riesgo
Estampadora	CRITICO
Apilador radial	CRITICO
Criba 1	CRITICO
Llenadora	SEMI-CRITICO
Deshornadora 2	SEMI-CRITICO
Deshornadora 1	SEMI-CRITICO

Fuente: Autor.

Como se puede apreciar en la tabla 13 se tomaron algunos equipos semi-criticos esto se debe a que son aquellos a los cuales la empresa considera indispensables, únicos y presentan gran cantidad de fallas a pesar de no ser críticos.

7. CALCULO DE CONFIABILIDAD Y DISPONIBILIDAD

A partir de la información recolectada por equipo y anexada en las hojas de vida, se procede a calcular los valores de tiempo medio entre fallas (MTBF) y tiempo medio de reparación (MTTR) empleando las ecuaciones seis y cinco respectivamente. Para así entender cómo se comportó cada uno de los equipos en el tiempo de estudio (09/2020-09/2021), es importante resaltar que el tiempo de estudio equivale a 13 meses, 394 días y 9456 horas que equivale al tiempo total disponible.

Tabla 14. MTBF y MTTR.

Equipo	Total Fallas	Horas de fallas	MTBF (H)	MTBF (D)	MTBF (M)	MTTR (H)
Banda 2 molido	0	0	-----	-----	-----	-----
Banda 3 molido	0	0	-----	-----	-----	-----
Tolva dosificadora 2	0	0	-----	-----	-----	-----
Banda 2	1	2	9454,00	393,92	13,13	2,00
Banda 4	1	3	9453,00	393,88	13,13	3,00
Banda pescador	1	3	9453,00	393,88	13,13	3,00
Tolva dosificadora 1	1	6	9450,00	393,75	13,13	6,00
Torre de apagado	2	8	4724,00	196,83	6,56	4,00
Banda 3	3	5,5	3150,17	131,26	4,38	1,83
Banda 7	3	6	3150,00	131,25	4,38	2,00
Banda 1	3	10	3148,67	131,19	4,37	3,33
Criba 2	3	10	3148,67	131,19	4,37	3,33
Banda 1 molido	3	12	3148,00	131,17	4,37	4,00
Banda 5	4	8,5	2361,88	98,41	3,28	2,13
Carro quita puertas lado coque	4	9,5	2361,63	98,40	3,28	2,38
Criba 1	5	13	1888,60	78,69	2,62	2,60
Banda 6	5	15	1888,20	78,68	2,62	3,00
Carro quita puertas lado carbón	5	15	1888,20	78,68	2,62	3,00
Apilador radial	8	22,5	1179,19	49,13	1,64	2,81
Banda rampa	10	31	942,50	39,27	1,31	3,10
Deshornadora 1	12	29	785,58	32,73	1,09	2,42
Locomotora de apagado	13	36,5	724,58	30,19	1,01	2,81
Deshornadora 2	15	38	627,87	26,16	0,87	2,53
Tolva llenadora	18	26	523,89	21,83	0,73	1,44
Estampadora	52	277	176,52	7,35	0,25	5,33

Fuente: Autor.

A partir de la información mostrada por la tabla 14, se puede por ejemplo concluir que la estampadora presenta en promedio una falla cada 176,52 horas o una falla por semana aproximadamente y que en promedio el equipo de mantenimiento tarda 5,33 horas en reparar el equipo. Con base en esto se puede entender cómo se comportaron los fallos a lo largo del tiempo en los equipos de la planta.

Una vez obtenidos los valores de MTBF y MTTR se procede a calcular los índices de disponibilidad y confiabilidad empleando las ecuaciones cuatro y tres respectivamente, estos valores se ven reflejados en la tabla 15.

Tabla 15. Confiabilidad y disponibilidad.

Equipo	Disponibilidad D(t)	Confiabilidad R(t)
Banda 2 molido	-----	-----
Banda 3 molido	-----	-----
Tolva dosificadora 2	-----	-----
Banda 2	100%	93%
Banda 4	100%	93%
Banda pescador	100%	93%
Tolva dosificadora 1	100%	93%
Torre de apagado	100%	86%
Banda 3	100%	80%
Banda 7	100%	80%
Banda 1	100%	80%
Criba 2	100%	80%
Banda 1 molido	100%	80%
Banda 5	100%	74%
Carro quita puertas lado coque	100%	74%
Criba 1	100%	68%
Banda 6	100%	68%
Carro quita puertas lado carbón	100%	68%
Apilador radial	100%	54%
Banda rampa	100%	47%
Deshornadora 1	100%	40%
Locomotora de apagado	100%	37%
Deshornadora 2	100%	32%
Tolva llenadora	100%	25%
Estampadora	97%	2%

Fuente: Autor.

Los índices de disponibilidad y confiabilidad nos indican respectivamente, el porcentaje de tiempo durante el cual el equipo estuvo funcional y la probabilidad de que el equipo no falle en un determinado tiempo t . Según los valores obtenidos en la tabla 15 por ejemplo, de las 9456 horas de estudio la estampadora estuvo disponible un 97% de las horas aproximadamente, esto indica que a pesar que el equipo tuvo gran cantidad de fallas el tiempo de reparación fue bajo, por otra parte la confiabilidad mensual para este equipo es del 2% esto indica que la estampadora tiene un 98% de probabilidad que presente fallas en un mes. Observando los diferentes resultados, la gran mayoría de los equipos tienen una disponibilidad aproximada de 100% a pesar de presentar fallas esto se debe a que el tiempo en el cual los equipos se encontraban fallando es muy inferior en comparación al tiempo total disponible.

8. IMPLEMENTACIÓN DEL ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLAS AMEF

En este capítulo se implementará la metodología del AMEF a los equipos seleccionados en la tabla 13, para ello se estudió cada equipo y se dividió por sistemas, con el objetivo de estipular las causas, modos, efectos y acciones de mantenimiento en caso de presentarse una interrupción dentro del funcionamiento normal del equipo, estas variables tendrán una ponderación de gravedad o severidad, frecuencia u ocurrencia, y detección, cuyos valores se reemplazarán en la ecuación dos para calcular así el índice de propiedad de riesgo NPR.

Según Cerem Comunicación³¹ “El estado ideal del valor de este índice de prioridad de riesgo es que se encuentre en valores inferiores a 40, lo que implicará una revisión periódica para asegurar que se mantiene de ésta forma. Si su valor fuese superior a 40 se debería realizar un plan de acción para corregir fallos.”. Sin embargo para este caso de estudio se recomendaron acciones de mantenimiento sin importar el valor del NPR y se dividió en tres áreas de la siguiente forma:

- NPR alto, color rojo, $\text{NPR} > 50$.
- NPR medio, color amarillo, $20 < \text{NPR} \leq 50$.
- NPR bajo, color verde, $\text{NPR} \leq 20$.

Los diferentes valores que pueden adoptar de variables que influyen en el valor de NPR se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 16. Ponderaciones AMEF.

FRECUENCIA	SEVERIDAD G	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
FRECUENCIA	OCURRENCIA O	VALOR

³¹ Cerem Comunicación. [en línea] ¿HAS PROBADO FMEA PARA GESTIONAR TUS RIESGOS? <<https://www.cerem.es/blog/has-probado-fmea-para-gestionar-tus-riesgos>>

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
DETECTABILIDAD	DETECCIÓN D	VALOR
Muy Alta	El defecto es obvio. Se detecta 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
Mediana	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: INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. [En línea]. ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS. AMFE. <https://www.insst.es/documents/94886/326775/ntp_679.pdf/3f2a81e3-531c-4daa-bfc2-2abd3aaba4ba>

En las siguientes tabla se aprecia una sección del AMEF de la estampadora uno de los equipos seleccionados en la tabla 13, donde se encontrara el tipo de sistema, función, modos de falla y NPR además de sus variables, los AMEF completos se pueden apreciar en el anexo B.

Tabla 17. AMEF Estampadora.

Sistema	Función	Modo que puede fallar	G	O	D	NPR
Apisonado	Compactar el carbón molido para aumentar la eficiencia del proceso de coquización.	Ruptura de estructura de pisón	7	4	1	28
		Los pisones no accionan.	8	8	4	256
		El conjunto de pisones no se desplaza	8	5	4	160
		Los pisones no frenan.	8	3	4	96
Llenado	Suministrar la mezcla de carbón necesaria para	No funciona la banda de alimentación.	8	2	3	48
		No se desplaza el tolvin.	8	2	4	64

	generar la torta que se introduce al horno.	No se acciona la compuerta del tolvin.	8	1	1	8
		Ruptura de la estructura de la banda de llenado.	8	1	1	8
		Ruptura en el tolvin.	4	1	1	4
Desplazamiento	Desplazar la estampadora sobre los rieles para cargar los hornos.	Los carretones no tienen tracción.	8	4	1	32
		Los motores no se accionan.	8	2	4	64
Cargue de hornos	Introducir la bandeja con la mezcla de carbón compactado a los hornos.	Ruptura de bandeja.	8	1	1	8
		No se mueve la bandeja.	8	4	4	128
		No suben los escudos.	8	2	2	32
		La estampadora no se nivela para poder introducir la bandeja en los hornos.	8	1	2	16

Fuente: Autor.

Como se puede apreciar en la tabla 17, la estampadora tiene 6 modos de fallo en los cuales el NPR es alto. Las recomendaciones en los AMEF se centran principalmente en dichos modos de fallos con el fin de disminuir estas ponderaciones y poder aumentar índices de confiabilidad y disponibilidad. En cada uno de los AMEF expuestos en el anexo B se encuentran diferentes acciones de mantenimiento preventivas, predictivas y correctivas diseñadas con el fin de que sean aplicadas por el equipo de mantenimiento y así prevenir fallas futuras.

9. ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO A APLICAR SEGÚN LA JERARQUIZACIÓN

Una de las finalidades del presente proyecto es evaluar estrategias de mantenimiento según la jerarquización realizada, con el fin de enfocar la mano de obra y los recursos a los equipos con un mayor riesgo, aumentando así la productividad de la planta y disminuyendo los fallos inesperados. Para ello es necesario implementar acciones de mantenimiento preventivas y predictivas en los equipos con mayor criticidad.

9.1. ÁREA DE HORNOS DE COQUIZACIÓN

9.1.1. Equipos críticos

En el área de hornos solera solo la estampadora se encuentra como equipo crítico, por lo tanto es recomendable aplicar acciones preventivas y predictivas para disminuir su índice de fallas ya que es el equipo con mayor cantidad de fallas en toda la planta. Por lo tanto es recomendable aplicar las siguientes acciones de mantenimiento.

Tabla 18. Tareas de mantenimiento recomendadas para la estampadora.

Tareas recomendadas	Preventiva	Predictiva
Inspección visual para localización de posibles agrietamientos en la estructura y de ser necesario reconstrucción de ella.	X	
Ajuste e inspección del estado físico de los pernos.	X	
Inspección visual de los diferentes componentes eléctricos.	X	
Limpieza de tableros de control y componentes eléctricos y electrónicos en ellos.	X	
Toma de termografía a diferentes tableros de control y motores.		X
Revisión periódica del nivel de aceite de las cajas reductoras.	X	
Cambio de lubricante de las cajas reductoras según indique el fabricante.	X	
Revisión periódica del estado de las mangueras, cámaras de aire y válvulas para detectar posibles fugas de aire en el sistema neumático.	X	
Inspección visual del estado físico de los carretones y rodamientos internos.	X	
Inspección del estado de la grasa en los diferentes carretones.	X	
Cambio de grasa en los carretones según su viscosidad.	X	

Análisis de vibraciones a los diferentes motores.		X
Engrase de chumaceras de rodillos de cabeza y cola de banda móvil.	X	
Toma de termografía a chumaceras de rodillos de cabeza y cola de banda móvil.		X
Inspección visual del estado físico de la cinta de banda móvil.	X	
Inspección visual de rodillos de carga y alineación de banda móvil y si es necesario reemplazarlos.	X	
Ajuste y lubricación periódica de cadena y piñones de transmisión de banda móvil.	X	
Inspección visual del estado físico de los piñones y cremalleras de extracción de la bandeja.	X	
Toma de termografía y análisis de vibraciones al motor del módulo hidráulico.		X
Inspección periódica del estado de las mangueras, válvulas y cilindros para detectar posibles fugas en el sistema hidráulico.	X	
Inspección periódica del nivel de líquido hidráulico en el tanque.	X	

Fuente: Autor.

9.1.2. Equipos semi-criticos

Tomando como referencia los resultados obtenidos en la tabla número 10, se puede identificar que el 58% de los equipos ubicados en esta área son semi-críticos, por lo tanto, es recomendable para estos equipos aplicar acciones de mantenimiento preventivo y en algunos casos predictivo. En las siguientes tablas se darán tareas de mantenimiento recomendadas para los 7 equipos semi-críticos.

Tabla 19. Tareas de mantenimiento recomendadas para la locomotora de apagado.

Tareas recomendadas	Preventiva	Predictiva
Inspección visual para localización de posibles agrietamientos en la estructura y de ser necesario reconstrucción de ella.	X	
Ajuste e inspección del estado físico de los pernos.	X	
Revisión periódica del nivel de aceite de la caja reductora utilizada para la apertura de las compuertas de cada vagón.	X	
Cambio de lubricante de la caja reductora según indique el fabricante.	X	
Inspección visual del estado físico de los carretones y rodamientos internos.	X	
Inspección del estado de la grasa en los diferentes carretones.	X	

Cambio de grasa en los carretes según su viscosidad.	X	
Engrase de chumaceras que se encuentran en los ejes de rotación de las compuertas.	X	
Ajuste y lubricación periódica de cadena y piñón en el sistema de apertura de las compuertas.	X	

Fuente: Autor.

Es necesario aclarar que, en el caso de la locomotora de apagado, solo se recomiendan acciones de mantenimiento para los vagones y se excluye la locomotora diésel, ya que el mantenimiento de este activo pertenece al área de maquinaria amarilla que se considera un área independiente de la empresa, por ende, se desvincula del equipo de mantenimiento de la planta.

Tabla 20. Tareas de mantenimiento recomendadas para la tolva llenadora.

Tareas recomendadas	Preventiva	Predictiva
Inspección visual para localización de posibles agrietamientos en la estructura y de ser necesario reconstrucción de ella.	X	
Ajuste e inspección del estado físico de los pernos.	X	
Inspección visual de los diferentes componentes eléctricos.	X	
Limpieza de tableros de control y componentes eléctricos y electrónicos en ellos.	X	
Toma de termografía al tablero de control y motores.		X
Revisión periódica del nivel de aceite de las cajas reductoras.	X	
Cambio de lubricante de las cajas reductoras según indique el fabricante.	X	
Inspección visual del estado físico de los carretes y rodamientos internos.	X	
Inspección del estado de la grasa en los diferentes carretes.	X	
Cambio de grasa en los carretes según su viscosidad.	X	
Ajuste y lubricación periódica de cadena y piñón de transmisión para su desplazamiento.	X	
Inspección del estado físico del cardan.	X	
Inspección periódica del estado físico de las guayas y ganchos de los malacates o winches.	X	

Fuente: Autor.

Al ser la llenadora un equipo semi-crítico, no se recomienda realizar análisis de vibración a sus motores ya que esto genera un gasto adicional en este equipo, por lo tanto, no se optimiza el costo de mantenimiento en este equipo. Por otra parte, se recomienda que el mantenimiento predictivo se realice con una menor frecuencia que en los equipos críticos.

Tabla 21. Tareas de mantenimiento recomendadas para la tolva dosificadora.

Tareas recomendadas	Preventiva	Predictiva
Inspección visual para localización de posibles agrietamientos en la estructura y de ser necesario reconstrucción de ella.	X	
Ajuste e inspección del estado físico de los pernos.	X	
Inspección visual de los diferentes componentes eléctricos.	X	
Limpieza de tableros de control y componentes eléctricos y electrónicos en ellos.	X	
Toma de termografía al tablero de control y motor.		X
Revisión periódica del nivel de aceite de la caja reductora.	X	
Cambio de lubricante de la caja reductora según indique el fabricante.	X	
Inspección del estado físico de los componentes mecánicos del mecanismo de 4 barras, tales como: manivela, biela y corredera.	X	

Fuente: Autor.

La tolva dosificadora, al ser un equipo de baja complejidad, sus acciones de mantenimiento son relativamente pocas, sin embargo, al ser semi-crítico es necesario aplicarlas con una frecuencia considerable ya que una falla implicaría grandes pérdidas en la producción de la planta.

Tabla 22. Tareas de mantenimiento recomendadas para las bandas.

Tareas recomendadas	Preventiva	Predictiva
Inspección visual para localización de posibles agrietamientos en la estructura y de ser necesario reconstrucción de ella.	X	
Engrase de chumaceras de rodillos de cabeza y cola.	X	
Inspección visual del estado físico de la cinta de banda móvil.	X	
Inspección visual de rodillos de carga y alineación de banda móvil y si es necesario reemplazarlos.	X	

Ajuste y lubricación periódica de cadena y piñones de transmisión de banda.	X	
Ajuste e inspección del estado físico de los pernos.	X	
Inspección visual de los diferentes componentes eléctricos.	X	
Limpieza de tableros de control y componentes eléctricos y electrónicos en ellos.	X	
Revisión periódica del nivel de aceite de las cajas reductoras.	X	
Cambio de lubricante de las cajas reductoras según indique el fabricante.	X	

Fuente: Autor.

Como se puede apreciar en la tabla 22, se proponen tareas de mantenimiento que en este caso serán empleadas para la banda 1 molido. Pese a ser un equipo semi-crítico, no se recomienda acciones de mantenimiento predictivo ya que aumentaría considerablemente los costos de mantenimiento y, observando su hoja de vida, no ha presentado una cantidad de fallas considerable que justifique la implementación de termografía o análisis de vibraciones.

Tabla 23. Tareas de mantenimiento recomendadas para carro quita puertas lado coque.

Tareas recomendadas	Preventiva	Predictiva
Inspección visual para localización de posibles agrietamientos en la estructura y de ser necesario reconstrucción de ella.	X	
Ajuste e inspección del estado físico de los pernos.	X	
Inspección visual de los diferentes componentes eléctricos.	X	
Limpieza de tableros de control y componentes eléctricos y electrónicos en ellos.	X	
Toma de termografía a tablero de control y motores.		X
Revisión periódica del nivel de aceite de las cajas reductoras.	X	
Cambio de lubricante de las cajas reductoras según indique el fabricante.	X	
Inspección visual del estado físico de los carretones y rodamientos internos.	X	
Inspección del estado de la grasa en los diferentes carretones.	X	
Cambio de grasa en los carretones según su viscosidad.	X	
Toma de termografía al motor del módulo hidráulico.		X

Inspección periódica del estado de las mangueras, válvulas y cilindros para detectar posibles fugas en el sistema hidráulico.	X	
Inspección periódica del nivel de líquido hidráulico en el tanque.	X	

Fuente: Autor.

La tabla anterior nos da a conocer las acciones de mantenimiento recomendadas para el carro quita puertas lado coque. Al ser un equipo semi-crítico, se proponen acciones predictivas que deben aplicarse periódicamente para descubrir posibles anomalías que puedan generar daños en los componentes en un futuro y aumente así su costo de mantenimiento. Por ser un equipo complejo, se recomienda rigurosidad a la hora de realizar las inspecciones para encontrar hasta el más mínimo causal de una falla futura y prevenirla.

Tabla 24. Tareas de mantenimiento recomendadas deshornadora.

Tareas recomendadas	Preventiva	Predictiva
Inspección visual para localización de posibles agrietamientos en la estructura y de ser necesario reconstrucción de ella.	X	
Ajuste e inspección del estado físico de los pernos.	X	
Inspección visual de los diferentes componentes eléctricos.	X	
Limpieza de tableros de control y componentes eléctricos y electrónicos en ellos.	X	
Toma de termografía a tablero de control y motores.		X
Revisión periódica del nivel de aceite de las cajas reductoras.	X	
Cambio de lubricante de las cajas reductoras según indique el fabricante.	X	
Inspección visual del estado físico de los carretes y rodamientos internos.	X	
Inspección del estado de la grasa en los diferentes carretes.	X	
Cambio de grasa en los carretes según su viscosidad.	X	
Toma de termografía al motor del módulo hidráulico.		X
Inspección periódica del estado de las mangueras, válvulas y cilindros para detectar posibles fugas en el sistema hidráulico.	X	

Inspección periódica del nivel de líquido hidráulico en el tanque.	X	
Inspección visual y lubricación de los patines sobre los que desplazan los brazos.	X	
Ajuste de guaya del malacate que extrae el brazo deshornador.	X	
Ajuste de guaya del malacate que extrae el brazo nivelador.	X	
Inspección visual del estado físico de los piñones y cremallera de extracción del brazo.	X	

Fuente: Autor.

Por ser la deshornadora 1 y la deshornadora 2 equipos similares con diferencia solo en el mecanismo de extracción de los brazos, se recomienda las mismas tareas de mantenimiento con excepción de algunas que están dirigidas específicamente a alguna de las dos, observando la tabla 24 las celdas azules son tareas recomendadas para la deshornadora 1, las celdas verdes para la deshornadora 2 y las celdas sin sombreado son tareas aplicables a ambos equipos.

9.1.3. Equipos no críticos

En el área de hornos de coquizar se tienen 4 equipos no críticos, por lo tanto, es recomendable que su mantenimiento no conlleven al incremento de gastos, es decir que para dicho equipos se aplique solamente acciones de mantenimiento preventivo.

- **Bandas de molido 2 y 3:** a diferencia de la banda molido 1 estas bandas transportadoras no han presentado fallas en el tiempo de estudio, por lo tanto, su criticidad es menor. Sin embargo, se tomará la tabla 22 como referencia para que sus acciones de mantenimiento sean las estipuladas en ellas, ya que son acciones netamente preventivas que no incrementaran de manera significativa sus costos de mantenimiento.
- **Carro quita puertas lado carbón:** al ser este equipo igual al carro quita puertas lado coque se tomará como referencia las acciones de mantenimiento en la tabla 23, con la excepción de que serán eliminadas las acciones predictivas, ya que esto aumentaría los costos de mantenimiento.

Tabla 25. Actividades de mantenimiento recomendadas torre de apagado.

Tareas recomendadas	Preventiva	Predictiva
Inspección del impulsor la bomba eléctrica.	X	
Inspección del estado físico del acople del eje del motor al impulsor.	X	
Inspección de las tuberías por si existen fugas, fisuras, desgastes o partes oxidadas.	X	
Verificar la altura del agua impulsada por la bomba.	X	
Inspección visual de los diferentes componentes y conexiones eléctricas.	X	
Limpieza de tableros de control y componentes eléctricos y electrónicos en ellos.	X	
Limpieza de válvulas de succión y tanques de agua.	X	
Limpieza de duchas para prevenir posibles atascos en los ductos de salida.	X	
Toma de termografía a motor.		X

Fuente: Autor.

La tabla 25 muestra tareas de manteniendo que se aplicaran a la torre de apagado, al ser un equipo de baja complejidad y, no crítico, son pocas tareas asignadas en mantenimiento. Esto se debe principalmente a que se compone de un sistema de bombeo que succiona agua para apagar el coque y su estructura está compuesta por obra civil. Sin embargo es el único equipo con esta jerarquía al cual se recomienda una acción predictiva ya que por seguridad de los trabajadores y medio ambiente es necesario siempre apagar el coque.

9.2. ÁREA DE CLASIFICACIÓN Y CARGUE

9.2.1. Equipos críticos

En el área de clasificación y cargue, más del 75% de los equipos son críticos. Esto se debe principalmente a que es un proceso en serie y no se cuenta con un bypass para poder continuar con la producción si un equipo entra en falla. Para estos dispositivos se diseñarán una serie de actividades de mantenimiento con el fin de prevenir fallas futuras.

Tabla 26. Actividades de mantenimiento recomendadas para apilador radial.

Tareas recomendadas	Preventiva	Predictiva
Inspección visual para localización de posibles agrietamientos en la estructura y de ser necesario reconstrucción de ella.	X	
Ajuste e inspección del estado físico de los pernos.	X	
Inspección visual de los diferentes componentes eléctricos.	X	
Limpieza de tableros de control y componentes eléctricos y electrónicos en ellos.	X	
Toma de termografía a diferentes tableros de control y motores.		X
Revisión periódica del nivel de aceite de las cajas reductoras.	X	
Cambio de lubricante de las cajas reductoras según indique el fabricante.	X	
Análisis de vibraciones a los diferentes motores.		X
Engrase de chumaceras de rodillos de cabeza y cola tanto de la banda fija como de la banda telescópica.	X	
Toma de termografía a chumaceras de rodillos de cabeza y cola de las bandas.		X
Inspección visual del estado físico de la cinta de las bandas.	X	
Inspección visual de rodillos de carga y alineación y si es necesario reemplazarlos.	X	
Ajuste y lubricación periódica de cadena y piñones de transmisión de las bandas.	X	
Ajuste de guaya del malacate que extrae la banda telescópica.	X	
Toma de termografía y análisis de vibraciones al motor del módulo hidráulico.		X
Inspección periódica del estado de las mangueras, válvulas y cilindros para detectar posibles fugas en el sistema hidráulico.	X	
Inspección periódica del nivel de líquido hidráulico en el tanque.	X	
Inspección de presión de aire en los neumáticos.	X	
Revisión de desgaste de las llantas.	X	

Fuente: Autor.

El apilador radial es un equipo de vital importancia para la empresa ya que es de operación continua, 24 horas del día, por lo tanto, es recomendable que siempre se encuentre en óptimas condiciones para que la planta de coquización no sufra pérdidas en su producción. Como se puede apreciar en la tabla 26, para su mantenimiento se proponen acciones predictivas que son muy importantes, ya que es un equipo crítico y,

actualmente se cuenta con los instrumentos como cámara termográfica y analizador de vibraciones.

Tabla 27. Actividades de mantenimiento recomendadas para cribas.

Tareas recomendadas	Preventiva	Predictiva
Inspección visual para localización de posibles agrietamientos en la estructura y de ser necesario reconstrucción de ella.	X	
Ajuste e inspección del estado físico de los pernos.	X	
Inspección visual de los diferentes componentes eléctricos.	X	
Limpieza de tableros de control y componentes eléctricos y electrónicos en ellos.	X	
Toma de termografía a diferentes tableros de control y motor.		X
Revisión periódica del nivel de aceite de las cajas reductoras.	X	
Cambio de lubricante de las cajas reductoras según indique el fabricante.	X	
Toma de termografía a módulos vibratorios.		X
Inspección visual del estado físico de las correas de transmisión.	X	
Inspección del nivel de aceite en los módulos vibratorios.	X	
Inspección de presión de aire en las bombonas.	X	
Revisión de desgaste de las mallas de clasificación.	X	

Fuente: Autor.

Al observar la tabla 11, se puede apreciar que tanto la criba 1 como la criba 2 son equipos críticos y como son equipos similares, las actividades de mantenimiento serán las mismas. Observando dichas actividades, se puede concluir que no se recomienda análisis de vibraciones porque cuando están en funcionamiento vibran con bastante vigor, dificultando este procedimiento.

En el área de clasificación y cargue se encuentran 7 bandas transportadoras críticas, por lo que es recomendable basarse en la tabla 22 para las acciones de mantenimiento preventivo. Sin embargo, al ser equipos críticos se implementarán actividades predictivas que contribuirán al hallazgo de posibles causales de fallas futuras. Dichas actividades se muestran en la tabla siguiente.

Tabla 28. Actividades predictivas para bandas transportadoras críticas.

Tareas recomendadas	Preventiva	Predictiva
Toma de termografía a diferentes tableros de control y motores.		X
Análisis de vibraciones a los diferentes motores.		X
Toma de termografía a chumaceras de rodillos de cabeza y cola de las bandas.		X

Fuente: Autor.

9.2.2. Equipos semi-criticos

En el área de clasificación y cargue solo se cuenta con un equipo semi-critico: la banda rampa. Se recomienda que las actividades de mantenimiento sean netamente preventivas, por lo tanto, las acciones estipuladas en la tabla 22 serán tomadas para dicho equipo. No se implementarán trabajos predictivos, ya que hay otros activos semi-criticos que se consideran más relevantes y no se cuenta con los suficientes equipos y personal capacitado para poder suplir más actividades predictivas.

9.2.3. Equipos no críticos

Los equipos no críticos con los que cuenta esta área son dos: banda pescador y tolva dosificadora 2. En este documento ya se han diseñado actividades de mantenimiento a equipos similares con igual o similar jerarquización según su criticidad, por lo tanto se recomienda que, para la banda pescador, se tome como referencia la tabla 22 que nos indica las actividades de mantenimiento que se deben aplicar a equipos similares. Por otra parte, para la tolva dosificadora 2 se deberán aplicar las acciones de mantenimiento expuestas en la tabla 21, a excepción de las actividades predictivas, ya que en este caso no es necesario por su criticidad.

10. RECOMENDACIONES

- Es necesario que se capacite al personal encargado de la operación de los equipos, ya que varias fallas se presentan por mala manipulación de los mismos. Para esto, se deben realizar manuales de instrucciones y operaciones para cada equipo en que se necesite una persona netamente encargada del funcionamiento.
- Se recomienda continuar con la elaboración de los AMEF para los equipos restantes, con el fin de que en un futuro sea implementado en la planta de coquización hornos solera el mantenimiento centrado en confiabilidad.
- Es necesario que el personal de mantenimiento tenga acceso a los AMEF, para en caso de un fallo inesperado tener una guía de búsqueda y solución.
- Se recomienda cambiar sistema de apisonado de la estampadora, ya que se evidencio que la mayoría de las fallas provienen de él, ya sea por deficiencias de diseño o materiales inadecuados para soportar la función realizada.

11. CONCLUSIONES

- Este trabajo evidenció la importancia del análisis de criticidad ya que, en muchas ocasiones los recursos, tanto monetarios como humanos, están dirigidos a equipos que a priori se consideran importantes, pero al hacer el análisis se llega a la conclusión de que no corresponden a la prioridad establecida. Este estudio mostró equipos que tenían gran atención por parte del área de mantenimiento y al final del análisis obtuvieron una criticidad inferior a la esperada, y reveló como equipos críticos algunos que no se consideraban importantes pero que al presentar un fallo generan gran afectación en la producción de la planta.
- Fue muy relevante encontrar que una cantidad de los equipos que presentan un número considerable de fallas, no se determinaron como críticos. Esto se debe principalmente a que se tiene la idea errónea de que un equipo que falla constantemente es un equipo crítico, sin embargo, existen otros factores como el impacto operacional que tienen mayor influencia en la criticidad, por ende, es esencial disponer de un remplazo en estos equipos, o que se dispongan de acciones que mejoren su confiabilidad y mantenibilidad, para disminuir paradas que afecten el funcionamiento de la planta.
- Observando los datos recopilados en las hojas de vida, se puede concluir que muchas de las fallas en los equipos se deben a no se están cumpliendo con la periodicidad de las intervenciones preventivas, ya que, en su mayoría, estas fallas se pueden prevenir con la correcta aplicación en el tiempo adecuado de las acciones preventivas y predictivas de mantenimiento.
- Es importante resaltar que aproximadamente el 83% de los equipos que tienen una confiabilidad inferior al 50% poseen una disponibilidad cercana o igual a 100%. Esto se debe a que el tiempo de inactividad del equipo es muy inferior al tiempo en el cual el equipo se encuentra en óptimas condiciones para su funcionamiento, sin embargo, se tiene la probabilidad de que el equipo falle en cualquier instante debido a su baja confiabilidad, pero con una reparación rápida según indica su MTTR.

ANEXOS

- **Anexo A:** Hojas de vida de los equipos de la planta hornos solera milpa 1.
- **Anexo B:** AMEF de equipos seleccionados en la tabla 13.

REFERENCIAS

- [1] C.I. MILPA S.A. [en línea]. NUESTRA HISTORIA. Disponible en internet. <<https://www.milpa.com.co/historia.html> >
- [2] LINKEDIN [en línea]. C.I. MILPA S.A. Disponible en internet. <<https://co.linkedin.com/company/c-i-milpa-s-a>>
- [3] INCARSA S.A.S. [archivos internos]. MISIÓN. Lugar: Samacá, Boyacá
- [4] INCARSA S.A.S. [archivos internos]. VISIÓN. Lugar: Samacá, Boyacá
- [5] C.I. MILPA S.A. [en línea]. PRINCIPIOS CORPORATIVOS. Disponible en internet. <<https://www.milpa.com.co/principios.html>>
- [6] COMITÉ TÉCNICO AEN/CTN. [Norma]. UNE EN 13306. TÉRMINOS FUNDAMENTALES. Mantenimiento. Pág. 8. 2002.
- [7] COMITÉ TÉCNICO AEN/CTN. [Norma]. UNE EN 13306. TÉRMINOS FUNDAMENTALES. Gestión del mantenimiento. Pág. 8. 2002.
- [8] COMITÉ TÉCNICO AEN/CTN. [Norma]. UNE EN 13306. TÉRMINOS FUNDAMENTALES. Activo. Pág. 9. 2002.
- [9] COMITÉ TÉCNICO AEN/CTN. [Norma]. UNE EN 13306. PROPIEDADES DE LOS ELEMENTOS. Fallo. Pág. 11. 2002
- [10] COMITÉ TÉCNICO AEN/CTN. [Norma]. UNE EN 13306. TIPOS Y ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO. Mantenimiento preventivo. Pág. 13. 2002
- [11] COMITÉ TÉCNICO AEN/CTN. [Norma]. UNE EN 13306. TIPOS Y ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO. Mantenimiento predictivo. Pág. 14. 2002
- [12] COMITÉ TÉCNICO AEN/CTN. [Norma]. UNE EN 13306. TIPOS Y ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO. Mantenimiento correctivo. Pág. 14. 2002
- [13] ROJAS BARAHONA RANDALL. [Proyecto de grado]. PLAN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM) PARA PLANTAS DE CONCRETO EN PROYECTOS DEL ICE. Importancia del RCM. Universidad Para La Cooperación Internacional. Pág. 5. San José. Costa Rica. 2010.

[14] GESTIPOLIS. [En línea]. MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD. Disponible en internet <<https://www.gestiopolis.com/rcm-mantenimientocentrado-en-confiabilidad/>>

[15] RAMIREZ J. MORENO H. [proyecto de grado]. ELABORACIÓN DE UN ANÁLISIS DE CRITICIDAD Y DISPONIBILIDAD PARA LA ATRACCIÓN X-TREME DEL PARQUE MUNDO AVENTURA, TOMANDO COMO REFERENCIA LAS NORMAS, SAE JA1011 Y SAE JA1012. MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD. Proceso del mantenimiento centrado en confiabilidad. Universidad Distrital Francisco José De Caldas. Pág. 22. Bogota. Colombia. 2017.

[16] PICO E. [proyecto de grado]. PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD PARA LA INYECTORA DE POLIURETANO DE LA EMPRESA CALZADO MARCIA - BUFFALO INDUSTRIAL. Universidad Técnica de Ambato. Ambato. Ecuador. 2016.

[17] RAMIREZ J. MORENO H. [proyecto de grado]. ELABORACIÓN DE UN ANÁLISIS DE CRITICIDAD Y DISPONIBILIDAD PARA LA ATRACCIÓN X-TREME DEL PARQUE MUNDO AVENTURA, TOMANDO COMO REFERENCIA LAS NORMAS, SAE JA1011 Y SAE JA1012. ANALISIS DE CRITICIDAD. Universidad Distrital Francisco José De Caldas .Pág. 24. Bogota. Colombia. 2017.

[18] RELIABILITYWEB.COM/ [en línea]. EL ANÁLISIS DE CRITICIDAD. Disponible en internet. < <https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/el-analisis-de-criticidad-una-metodologia-para-mejorar-la-confiabilidad-ope>>

[19] INGENIERÍA INDUSTRIAL ONLINE.COM [en línea]. ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA AMEF. Disponible en internet. <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/lean-manufacturing/analisis-del-modo-y-efecto-de-fallas-amef/>>

[20] JIMÉNEZ RODRÍGUEZ LUIS ALFONSO. [Libro] MANTENIMIENTO INDUSTRIAL: CONCEPTOS Y ESTRATEGIAS. Análisis de modos y efectos de falla (AMEF). Pág. 69. 2021.

[21] HUBSPOT [en línea]. CÓMO HACER UN AMEF PASÓ A PASO CON EJEMPLO. Disponible en internet. <
<https://blog.hubspot.es/marketing/amef#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20es%20un%20AMEF%3F,como%20facilitar%20estrategias%20para%20eliminarlos.>>