

ESTUDIO DE FALLAS, SÍNTOMAS Y COMPONENTES CRÍTICOS DE EQUIPOS
DEL ÁREA DE FIGURACIÓN DE LA EMPRESA GRUPO SIDERÚRGICO REYNA

YEISSON ANDRES MARTINEZ HIGUERA

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA

FACULTAD SECCIONAL DUITAMA

INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

DUITAMA

2021

ESTUDIO DE FALLAS, SÍNTOMAS Y COMPONENTES CRÍTICOS DE EQUIPOS
DEL ÁREA DE FIGURACIÓN DE LA EMPRESA GRUPO SIDERÚRGICO REYNA

YEISSON ANDRES MARTINEZ HIGUERA

Proyecto de grado en la modalidad de práctica con proyección empresarial como
requisito para optar al título de:

INGENIERO ELECTROMECAÁNICO

DIRECTOR

ORLANDO DÍAZ PARRA

INGENIERO MECÁNICO

DOCENTE DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA UPTC

COORDINADOR GRUPO SIDERÚRGICO REYNA

JAVIER RINCÓN GUAUQUE

JEFE MANTENIMIENTO ELÉCTRICO

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA

FACULTAD SECCIONAL DUITAMA

INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

DUITAMA

2021

Nota de aceptación:

Director de proyecto

Jurado

Jurado

Director de escuela

Duitama, 12 de noviembre de 2021

A Dios por la vida y fortaleza para asumir este gran reto.

A mis padres Arcenio y Gloria por su gran amor, apoyo incondicional y esfuerzo durante cada uno de los años de mi vida, son mi fuente de motivación e inspiración.

A mis hermanos Jonathan y Lina por su cariño y respaldo.

A Catherine por todo su amor y apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTOS

A la empresa Grupo Siderúrgico Reyna por brindar la primera oportunidad a quienes como yo culminamos la etapa académica de nuestras carreras profesionales.

Al Ingeniero Javier Rincón Jefe de mantenimiento eléctrico por brindarme la oportunidad y apoyo para desarrollar este trabajo.

Al Director de este proyecto, el Ingeniero Orlando Díaz por su asesoría, disposición y aportes para la culminación de este trabajo.

A los señores Andrés, David, Danilo, Luis, Mario, Ramón y Yamith encargados de la manutención de los equipos del área de figuración, por brindarme su amistad, conocimiento y valiosa experiencia.

A la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia especialmente a los docentes de Ingeniería Electromecánica por los valiosos años de formación académica.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	11
1. EMPRESA	12
1.1. RESEÑA HISTÓRICA DE LA EMPRESA	12
1.2. MISIÓN	12
1.3. VISIÓN	13
1.4. PROCESO DE PRODUCCIÓN DE LA EMPRESA	14
1.4.1. UPCH (Unidad Productora de Chatarra)	14
1.4.2. Acería	14
1.4.3. Laminación	15
1.4.4. Figuración	15
2. PROBLEMÁTICA	15
2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	15
2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	17
3. JUSTIFICACIÓN	17
4. OBJETIVOS	18
4.1. OBJETIVO GENERAL	18
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
5. MARCO TEÓRICO	19
5.1. ¿QUE ES EL MANTENIMIENTO?	19
5.2. TIPOS DE MANTENIMIENTO	19
5.2.1. Mantenimiento correctivo	19
5.2.2. Mantenimiento preventivo	20
5.2.3. Mantenimiento predictivo	22
5.2.4. Mantenimiento RCM	23
5.3. ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA	24
5.4. ANÁLISIS DE CRITICIDAD	27
5.4.1. Análisis de criticidad cualitativo	27

5.4.2.	Análisis de criticidad semicuantitativo	29
6.	EQUIPOS	30
6.1.	ESTRIBADORAS.....	30
6.1.1.	Estribadoras MEP FOCUS 12.....	30
6.1.2.	Estribadora SCHNELL FORMULA 12.....	32
6.1.3.	Estribadora MEP FORMAT 12 HS	33
6.2.	DOBLADORAS.....	34
6.2.1.	Dobladoras MEP P140 SE, MEP P140 HPE y OMES P140 E.....	34
6.2.2.	Dobladora SCHNELL P/45 PRO 2C.....	36
6.2.3.	Dobladora ALBA DAE-16-2S	36
6.3.	CALANDRIAS.....	37
6.4.	CIZALLAS.....	38
6.4.1.	Cizallas HILL ACME serie “CANTON”.....	38
6.4.2.	Cizalla ALBA CRM 55	39
6.5.	LÍNEAS DE RODILLOS.....	40
6.6.	PUENTES GRÚA	40
7.	ESTUDIO DE FALLAS.....	41
7.1.	PLAN DE MANTENIMIENTO ACTUAL	41
7.2.	RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	42
7.2.1.	Manuales de equipos	42
7.2.2.	Registro de historial de fallas	43
7.2.3.	Información complementaria	44
7.3.	ORGANIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN	44
7.3.1.	Clasificación de componentes de equipos	44
7.3.2.	Normalización de nombres y términos	45
7.3.3.	Creación de base de datos digital	46
7.4.	CODIFICACIÓN DE FALLAS Y SÍNTOMAS	47
7.5.	ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMEF).....	50
7.6.	ANÁLISIS DE CRITICIDAD	52
7.6.1.	Análisis de criticidad para equipos (cualitativo).....	52
7.6.2.	Análisis de criticidad de componentes (semicuantitativo)	54

8.	PROPUESTA DE MEDIDAS PREVENTIVAS DE MANTENIMIENTO	59
8.1.	ACCIONES A REALIZAR POR EL PERSONAL QUE OPERA LAS MAQUINAS	59
8.2.	ACCIONES PREVENTIVAS POR PARTE DEL PERSONAL DE MANTENIMIENTO	60
8.2.1.	Medidas preventivas para estribadoras MEP FOCUS 12	60
8.2.2.	Medidas preventivas para líneas de rodillos automáticas	60
8.2.3.	Medidas preventivas para línea de rodillos manual	61
8.2.4.	Medidas preventivas para dobladoras OMES y MEP.....	61
8.2.5.	Medidas preventivas para polipastos ABUS	61
8.2.6.	Medidas preventivas para cizallas HILL ACME CANTON 22A Y 44A.....	61
8.3.	BUENAS PRACTICA DE MANTENIMIENTO	62
8.4.	FORMATOS SUGERIDOS	62
8.4.1.	Formato de control de funcionamiento de dispositivos de emergencia 62	
8.4.2.	Formato de solicitud de repuestos	63
8.4.3.	Formato de retiro de repuestos	63
8.4.4.	Formato de análisis de modos y efectos de falla	63
9.	CONCLUSIONES	64
10.	RECOMENDACIONES.....	66
11.	BIBLIOGRAFÍA.....	67

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1 Organigrama de área mantenimiento figuración.....	13
Figura 2 Flujograma de criticidad.....	28
Figura 3 Matriz de criticidad.....	29
Figura 4 Estribadora MEP FOCUS 12	30
Figura 5 Estribadora SCHNELL FORMULA 12	33
Figura 6 Estribadora MEP FORMAT 12 HS.....	34
Figura 7 Dobladora MEP P140 HPE.....	35
Figura 8 Dobladora OMES P140 E	35
Figura 9 Dobladora SCHNELL P/45 PRO 2C	36
Figura 10 Dobladora DAE-16-2S	37
Figura 11 Calandria CAL 34.....	37
Figura 12 Calandria MEP CAL 132.....	38
Figura 13 Cizalla HILL ACME CANTON 44A.....	39
Figura 14 Cizalla ALBA CRM 55.....	39
Figura 15 Puente grúa birriel ABUS.....	41
Figura 16 Clasificación de componentes de equipos.....	45
Figura 17 Interfaz de registro de fallas en base de datos	46
Figura 18 Esquema de codificación de fallas.....	48
Figura 19 Esquema de codificación de síntomas.....	49
Figura 20 Nueva matriz de criticidad para análisis de componentes	58

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1 Comparación mantenimiento correctivo, sustitución vs reparación	20
Tabla 2 Ventajas y desventajas del mantenimiento preventivo	21
Tabla 3 Ventajas y desventajas mantenimiento predictivo	22
Tabla 4 Probabilidad de ocurrencia del fallo	26
Tabla 5 Detectabilidad del fallo	26
Tabla 6 Gravedad del fallo	27
Tabla 7 Formato de registro de fallas, ajustes, mantenimiento y novedades	43
Tabla 8 Clasificación de componentes para menú dobladoras MEP y OMES.....	47
Tabla 9 Codificación fallas electricas	48
Tabla 10 Codificación fallas mecánicas	49
Tabla 11 Carácter identificador de equipo	50
Tabla 12 Fragmento AMEF de cizalla HILL ACME serie CANTON	51
Tabla 13 Criterio de frecuencia de fallas para análisis de componentes	54
Tabla 14 Criterio de impacto operacional para análisis de componentes	55
Tabla 15 Criterio de impacto en seguridad, higiene y medio ambiente para análisis de componentes	56
Tabla 16 Criterio de costos de mantenimiento para análisis de componentes	57
Tabla 17 Criterio de flexibilidad operacional para análisis de componentes.....	57

INTRODUCCIÓN

El sector industrial es sin duda una de las actividades económicas y técnicas más importantes, que ha permitido usar su avance para mejorar la calidad de vida de la población mundial junto con el crecimiento tecnológico que ha venido presentando. La gran cantidad de empresas que hay actualmente y las que surgen todos los días han dado lugar a una alta competitividad donde ciertos factores como calidad del producto, eficiencia, costos, maquinas o equipos, entre otros juegan un papel importante para poderse consolidar como una empresa robusta en el mercado.

El mantenimiento de máquinas o equipos es vital en los procesos de producción industrial, ya que permite la conservación de estos tanto en su condición visual como operativa evitando paradas inesperadas, accidentes laborales e inconformidades por mala calidad o defectos del producto.

Grupo Siderúrgico Reyna se ha consolidado como una de las cinco empresas más importantes en producción de acero estructural a nivel nacional, ofreciendo un producto que cumple con la normatividad y altos estándares de calidad. El área de figuración de la empresa produce acero figurado usado en el sector de la construcción, dicha área cuenta con un gran número de equipos que por su tiempo de trabajo diario presenta numerosas fallas que provocan paradas inesperadas, lo anterior lleva a la necesidad de realizar el presente estudio de fallas para proponer medidas preventivas que disminuyan o mitiguen las fallas y/o tiempos de parada inesperados y así complementar los planes de mantenimiento actuales.

1. EMPRESA

1.1. RESEÑA HISTÓRICA DE LA EMPRESA

En la década de los años 60 el señor Juan Alfredo Reyna decide emprender en el campo de la industria y funda su empresa llamada Aceros Ramson¹, la cual se dedicaba a laminar en frío barras de acero lisas que suministraba Acerías paz del Río. Su hijo Jairo Reina en los años 70 emprende una empresa llamada Distriaceros la cual complementaba a Aceros Ramson en la parte comercial.

El 4 de agosto de 1981 los hermanos Orlando y Jairo Reina realizan el montaje de un tren de laminación en caliente, fundando así Acerías Sogamoso, absorbiendo a Distriaceros y Aceros Ramson. Posteriormente, se adquieren un tren de desbaste y un horno eléctrico lo que lleva a la creación de Siderúrgica Sogamoso y Acerías Boyacá el 28 de mayo de 1985 y el 22 de julio de 1988 respectivamente.

En el año 1992 se crea Hornos Nacionales (Hornasa) con la adquisición de una nueva planta. En el año 2000 se inician operaciones con la nueva planta adquirida y nace SIDENAL. Alrededor del 2019 se crea una nueva firma con el nombre de Grupo Siderúrgico Reyna que actualmente maneja gran parte de la planta.

1.2. MISIÓN

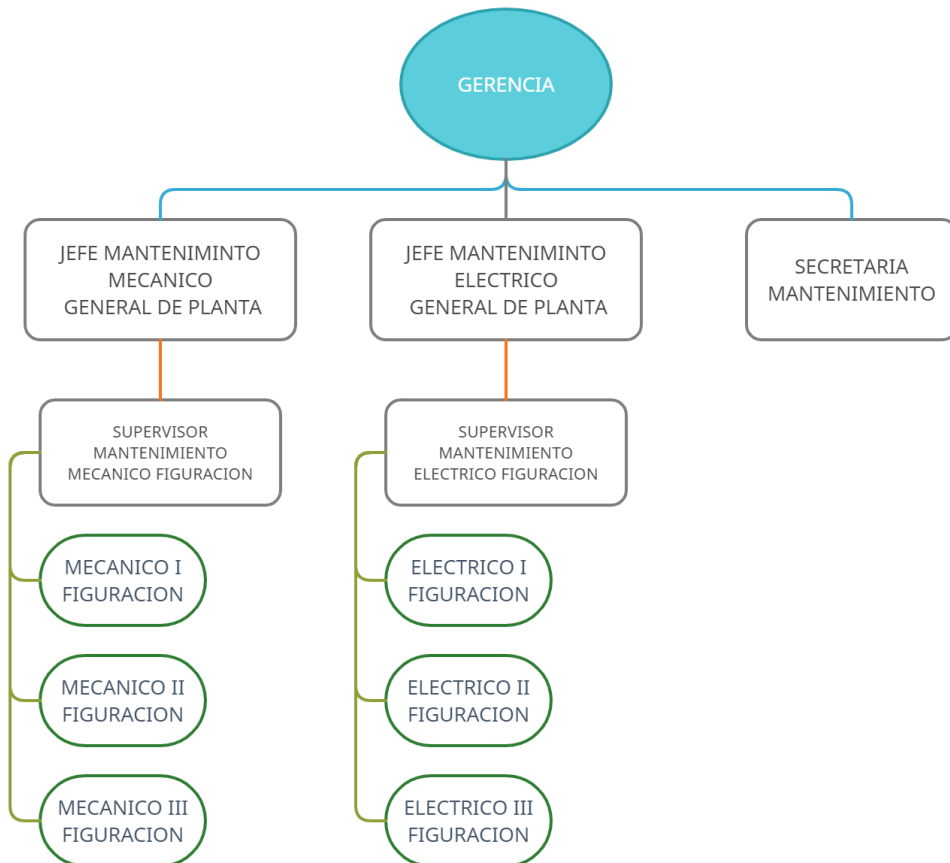
Empresa líder a nivel nacional, que produce a partir del reciclaje de chatarra productos de acero con destino a la construcción y la industria metalmecánica para ser comercializados, apoyada con recurso humano motivado y capacitado. Trabaja por el desarrollo económico, la protección del medio ambiente y con responsabilidad social.

¹ SIDENAL. SIDENAL - Siderúrgica Nacional - Video Corporativo. Sogamoso. (29 de Septiembre de 2011). 10:07 min. [Consultado: 8 de mayo de 2021]. Disponible en: <<https://www.youtube.com/watch?v=9blr7HPI3EM>>

1.3. VISIÓN

- Ampliar nuestro portafolio de productos.
- Ampliar el cubrimiento del mercado en el mercado nacional.
- Ser modelo a seguir para empresas, proveedores y clientes en la implementación, mantenimiento y mejoramiento de procesos basado en el desarrollo sostenible y sustentable

Figura 1 Organigrama de área mantenimiento figuración



Fuente: Autor, basado en estructura evidenciada de área de mantenimiento figuración donde se realizara proyecto.

1.4. PROCESO DE PRODUCCIÓN DE LA EMPRESA

Grupo Siderúrgico Reyna cuenta con cuatro áreas fundamentales para llevar a cabo el proceso de producción de acero. Estas son:

1.4.1. UPCH (Unidad Productora de Chatarra)

Esta área se divide en tres subprocesos

- Corte de chatarra: este es el proceso inicial en el cual se corta la chatarra que proviene de los diferentes acopios por medio de equipos de oxicorte y prensa cizalla.
- Fragmentadora: la chatarra liviana es llevada a la maquina frecuentadora que la corta en trozos muy pequeños para luego ser llevada a la acería.
- R&CE (Recuperación y Conversión Energética): este es un proyecto en el que se lleva a cabo el procesamiento de materiales, desechos y residuos producidos por la limpieza de la chatarra calcificándolos según su tipo y llevándolos a una descomposición química y orgánica por medio de pirolisis sin producir gases.

1.4.2. Acería

En esta área se lleva a cabo el proceso de transformación de la chatarra en la que se destacan tres principales subprocesos

- Fusión de chatarra: en este proceso se funde la chatarra en el horno eléctrico a 1600° C.
- Afino: el proceso de afino, consiste en tomar el acero fundido del horno eléctrico y ajustar su composición química en el horno cuchara, para así cumplir con los estándares de calidad exigidos.

- Colada continua: después de que el acero tiene la composición química correcta se lleva a la máquina de colada continua en la cual se solidifica el acero fundido y se transforma en barras cuadradas llamadas Palanquilla.

1.4.3. Laminación

En este proceso la palanquilla se introduce en el horno de calentamiento donde se lleva a una temperatura de 1200°C para deformarla en el tren de laminación obteniendo varillas redondas lisas, redondas corrugadas y cuadradas, todas de diferentes calibres.

1.4.4. Figuración

Aunque esta área no interviene directamente en el proceso de producción de perfiles de acero, si usa las varillas producidas como materia prima para la producción de acero figurado como estribos, ganchos de estribo y dobleces usados en el campo de la construcción.

2. PROBLEMÁTICA

2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En la actualidad a nivel mundial es evidente el impresionante crecimiento que el sector industrial ha tenido llevando consigo un desarrollo tecnológico muy acelerado, obligando a todo tipo de empresas y corporaciones que hacen parte del sector a permanecer en una constante actualización tecnológica de sus procesos. Por otro lado, la alta competitividad que se vive ha dado lugar a que campos como la gestión de calidad, optimización de tiempos y procesos, y el mantenimiento, sean de gran importancia en el sector industrial marcando una gran diferencia al momento de llevar o no al éxito y crecimiento a una empresa.

La real academia española define el mantenimiento como un “conjunto de operaciones y cuidados necesarios para que instalaciones, edificios, industrias, etc.,

puedan seguir funcionando adecuadamente”², según García³ durante la revolución industrial se empiezan a ver los comienzos del mantenimiento, allí el personal encargado de operar los diferentes equipos realizaban también tareas de reparación a estos mismos, con el tiempo y el avance de nuevas máquinas y equipos se hizo necesario designar personas que se encargaran estrictamente del arreglo de estos. Es así, que hoy el mantenimiento no solo consta de actividades de reparación, sino que además, se realiza planificación y ejecución de procedimientos de mantenimiento que prevengan y/o predigan las fallas que se puedan presentar, y gestionar dichas actividades para que sean óptimas y efectivas en beneficio de los procesos de cada compañía.

El mantenimiento puede ser un tanto complejo o no dependiendo de la cantidad de equipos y la actividad económica a la que la empresa se dedique. La industria siderúrgica es una de las cuales se hace necesario implementar un buen plan de mantenimiento por la cantidad de equipos y procesos que tiene, además, el trabajo continuo y el gran esfuerzo al que están sometidas las máquinas generan un gran deterioro y fallas constantes. Pero, la necesidad de tener un control de fallas y planes de mantenimiento no solo tiene como objetivo el cuidado y mantenibilidad de los activos de la industria siderúrgica sino que también lo es evitar bajas en la producción y seguir siendo competitivos en un mercado que es muy creciente en Colombia y el mundo. Según un artículo de Portafolio “tomando como referencia el mercado latinoamericano, Colombia es el tercer productor de acero de la región, después de Brasil y México, con 1’335.000 toneladas por año”⁴, además, hablando en un contexto un poco más regional, Portafolio también cita en su artículo que Boyacá es el departamento que más aporta a esa cantidad de producción anual con un 70 % de esta.

Grupo Siderúrgico Reyna es una de las tres empresas presentes en el departamento de Boyacá contribuyentes de tal porcentaje de producción de acero estructural, haciéndola una de las más importantes del sector cumpliendo con altos estándares de calidad. Grupo Siderúrgico Reyna ofrece entre sus productos barra corrugada, grafileras, malla electrosoldada y acero figurado; este último consiste en figurar barras de acero en diferentes formas, dimensiones y diámetros según sean requeridos por los diseños estructurales.

² REAL ACADEMIA ESPAÑOLA. Diccionario de la lengua española. [En línea]. Versión actualización 2020. Disponible en: <<https://dle.rae.es/mantenimiento>>

³ GARCÍA GARRIDO, Santiago. Organización y Gestión Integral de Mantenimiento. [Libro formato digital]. Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos, 2010. p. 1.

⁴ PORTAFOLIO. Industria del acero reafirma su crecimiento para el 2020. En: Portafolio. Bogotá D.C., Marzo 11 de 2020. [Consultado: 4 de abril de 2021]. Disponible en: <<https://www.portafolio.co/economia/industria-del-acero-reafirma-su-crecimiento-para-el-2020-538951>>

El área de figuración de la empresa cuenta con un buen número de equipos empleados para la producción del acero figurado entre los que se encuentran maquinas estribadoras, dobladoras, roladoras, mesas de rodillos para transporte de varilla, líneas corte, puentes grúa y polipastos. La gran demanda de acero figurado lleva a que dicha área de la planta esté en funcionamiento las 24 horas del día, los 7 días de la semana por lo que los equipos están en operación de manera constante ocasionando la falla de varios de sus componentes antes de lo previsto.

Aunque actualmente se tiene implementado un plan de mantenimiento preventivo en toda la planta incluyendo el área de figuración, aún se desconoce muchas de las fallas que se presentan, la frecuencia de estas, las partes y repuestos críticos y un registro más organizado de cada falla y su respectiva reparación, lo cual hace que dicho plan de mantenimiento pueda complementarse con estos datos y obtener mejores resultados.

2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Qué estrategia se puede usar para determinar las causas de las paradas de producción en el área de figuración del Grupo Siderúrgico Reyna y que medidas preventivas se deben adoptar para disminuirlas o mitigarlas?

3. JUSTIFICACIÓN

Una buena gestión, organización de datos y planes de mantenimiento dan como resultado una empresa o entidad eficiente en cada uno de sus procesos, evitando o reduciendo los tiempos muertos o tiempos de parada inesperados a causa de fallas presentes en los activos de esta, obteniéndose como resultado una producción continua y sin tropiezos.

En empresas como Grupo Siderúrgico Reyna donde la actividad económica en la que se desempeña existe una alta demanda de producción como lo es en este caso el acero, en un país que se encuentra en desarrollo y con un crecimiento constante y a grandes pasos en cuanto a infraestructura y construcción, un desconocimiento de algunas de las fallas y el no correcto manejo de estas puede convertirse en un gran problema para la producción generando posibles retrasos o incumplimientos de metas propuestas para el crecimiento de la empresa en el mercado y posibles discrepancias con los clientes, además de las pérdidas económicas que se pueden generar a causa de un paro total o parcial de la producción.

El estudio de fallas es un mecanismo importante al momento de proponer las medidas para mitigar las fallas ya que así será posible saber cuáles, como, porque y en donde se presentan, además de otros factores como la criticidad de cada uno de los componentes de los equipos. Las medidas que se determinen y que deberán estar en constante monitoreo permitirán a la empresa tener un proceso más eficiente teniendo un control parcial de las fallas.

La recolección de datos sobre fallas en equipos y las medidas preventivas para planes de mantenimiento son parte fundamental del campo de la ingeniería donde el perfil de Ingeniero Electromecánico permite realizar un análisis acertado del estudio por contar con el conocimiento y terminología de las ramas mecánica y eléctrica. El desarrollo de este trabajo permitirá aplicar y reforzar los conocimientos adquiridos durante la etapa académica aplicándolos a un caso específico que es parte fundamental de la empresa.

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar un estudio de la información de mantenimiento y operación del área de figuración de la empresa Grupo Siderúrgico Reyna con el fin de desarrollar un análisis de equipo crítico y un análisis de modo y efecto de falla en los equipos.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar formato adecuado para recolectar información de fallas, ajustes, mantenimientos y novedades con el fin de realizar análisis de modos y efectos de falla de los equipos del área de figuración del Grupo Siderúrgico Reyna.
- Reconocer e identificar los equipos y sus respectivas funciones en el área de figuración de la empresa Grupo Siderúrgico Reyna con el fin de realizar un análisis de equipos y componentes críticos.
- Proponer acciones que disminuyan o mitiguen las fallas y/o tiempos de parada de los equipos del área de figuración del Grupo Siderúrgico Reyna, así como formatos para su respectivo control.

5. MARCO TEÓRICO

5.1. ¿QUE ES EL MANTENIMIENTO?

El mantenimiento es “el conjunto de técnicas destinado a conservar equipos e instalaciones en servicio durante el mayor tiempo posible (buscando la más alta disponibilidad) y con el máximo rendimiento”⁵. Dichas técnicas van desde operaciones o tareas realizadas por personal que tenga el conocimiento técnico para ejecutarlas hasta historiales de datos e índices que permiten elegir correctamente las tareas y la frecuencia con que se deben realizar, esto ha permitido clasificar el mantenimiento en diferentes tipos los cuales tienen ventajas y desventajas que deben ser evaluadas por las empresas y así estas puedan seleccionar el más eficiente.

Adicionalmente el mantenimiento no solo permite conservar los activos de las industrias, sino que además previene y evita accidentes ocasionados por fallas o malos funcionamientos de los equipos.

5.2. TIPOS DE MANTENIMIENTO

5.2.1. Mantenimiento correctivo

“Es el conjunto de tareas destinadas a corregir los defectos que se van presentando en los distintos equipos...”⁶, este tipo de mantenimiento fue el primero que se empezó ejecutar en las industrias debido al desconocimiento de dicha rama. Según Rey⁷ el mantenimiento correctivo puede ser considerado en dos tipos:

- Mantenimiento correctivo de sustitución de partes en el cual se realiza el cambio del elemento de maquina defectuoso o que presento la falla.
- Mantenimiento correctivo de reparación propiamente dicha que consiste en reparar, componer, regenerar o ajustar el componente o elemento de máquina que haya presentado la falla.

⁵ GARCÍA GARRIDO, Santiago. Organización y Gestión del Mantenimiento de Instalaciones. [Documento formato digital]. España: Ediciones Renovetec. p. 5.

⁶ GARCÍA GARRIDO, Santiago. Organización y Gestión Integral de Mantenimiento. Op. Cit., p. 18.

⁷ REY SACRISTÁN, Francisco. Manual del Mantenimiento Integral en la Empresa. [Libro formato digital]. España: FC Editorial, 2001. p. 85.

Cada tipo de mantenimiento correctivo tiene ventajas y desventajas representadas en la Tabla 1.

Tabla 1 Comparación mantenimiento correctivo, sustitución vs reparación

CRITERIOS	SUSTITUCIÓN	REPARACIÓN
Rapidez de reacción ante el fallo	Alta	Baja
Costos de mano de obra	Bajo	Alto
Costos de material y/o repuestos	Alto	Bajo

Fuente: REY SACRISTÁN, Francisco. Manual del Mantenimiento Integral en la Empresa. [Libro formato digital]. España: FC Editorial, 2001. p. 85,86.

Además de lo descrito en la Tabla 1, el implementar el mantenimiento correctivo trae consigo una gran desventaja como lo es las paradas inesperadas de los equipos que generan una pérdida significativa de dinero y retrasa metas de producción.

5.2.2. Mantenimiento preventivo

Pérez⁸ dice en su libro que el mantenimiento preventivo son tareas programadas que se desarrollan en ciertos intervalos de tiempo y cuyo objetivo es que las máquinas y equipos continúen funcionando y ejecutando sus respectivas tareas dentro de los procesos que se realizan en las empresas. Este tipo de mantenimiento mitiga las paradas inesperadas por fallas en las maquinas o equipos, ya que se interviene la máquina de manera periódica y planificada anticipando que se presente el desperfecto.

Este tipo de mantenimiento consta de tareas “como cambios o reemplazos, adaptaciones, restauraciones, inspecciones, evaluaciones, etc., realizadas en períodos de tiempos por calendario...”⁹, los periodos o frecuencias con los que se deben realizar cada una de las tareas de mantenimiento son muy importantes ya que deben ser lo más adecuadas posible, donde no sean intervalos de tiempo muy grandes que permitan que se presenten la falla ni tampoco tiempos cortos que lleven a realizar tareas innecesarias e incrementen los costos.

⁸ PÉREZ RONDÓN, Félix. Conceptos Generales en la Gestión del Mantenimiento Industrial. [Documento formato digital]. Bucaramanga, Colombia: Ediciones USTA, Universidad Santo Tomas 2021. p. 39.

⁹ Ibid, p. 39.

Tabla 2 Ventajas y desventajas del mantenimiento preventivo

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Disminuye las anomalías o fallas y los tiempos muertos (aumentando la disponibilidad de las máquinas, equipos e instalaciones.	Todo programa que se inicia genera un incremento en los costos.
Aumenta la vida útil de las máquinas, equipos, componentes e instalaciones.	
Hay una mejora efectiva en el uso de los recursos.	Para iniciar se necesita de tiempo extra en el trabajo del personal de mantenimiento. Búsqueda de la información, como manuales, historial, fichas técnicas, repuestos, inventarios, reparaciones, etc. Actualizar información, generación de procedimientos, instructivos.
Se disminuyen o se reducen, los niveles de inventarios de repuestos.	
Hay un ahorro económico a largo y mediano plazo.	Tiempo para transferir la información recolectada.
Elaboración de planes de mantenimiento.	
Se definen indicadores de gestión o de desempeño.	
Se documentan procedimientos, instructivos. Se mantiene actualizada la información.	
Se implementan buenas inspecciones de rutinas.	
Implementación de un buen programa de lubricación.	
Definición de los repuestos.	Técnicos de mantenimientos, trabajo de campo adicional. Taxonomía de los equipos. Materiales utilizados, tiempos, etc.
Se aumenta la seguridad industrial para las personas.	Dotación, ordenamiento de almacenes. Rotación de repuestos, actualizar información, inventarios.
Se mejora el enfoque de contaminación ambiental.	
Disminución de pagos de horas extras, que se generan continuamente.	Se elevan costos, por entrenamientos, capacitaciones para el personal.
Se aumenta el cumplimiento de la entrega oportuna de producción.	

Fuente: PÉREZ RONDÓN, Félix. Conceptos Generales en la Gestión del Mantenimiento Industrial. [Documento formato digital]. Bucaramanga, Colombia: Ediciones USTA, Universidad Santo Tomas 2021. p. 47.

5.2.3. Mantenimiento predictivo

“El mantenimiento predictivo consta de una serie de ensayos de carácter no destructivo orientados a realizar un seguimiento del funcionamiento de los equipos para detectar signos de advertencia que indiquen que alguna de sus partes no está trabajando de la manera correcta.”¹⁰

Este mantenimiento se conoce también como basado en condición ya que los diferentes controles y técnicas para monitorear el correcto funcionamiento de los componentes permiten tomar decisiones en cuanto a la intervención de la maquina o equipo. Sus ventajas y desventajas son:

Tabla 3 Ventajas y desventajas mantenimiento predictivo

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Ahorro en costos de repuestos	Requiere una alta inversión inicial
Menores costos de mantenimiento cuando ya se ha implementado	
Mayor confiabilidad en operación de equipos	No se puede implementar en todas las empresa
Menores tiempos de mantenimiento	Requiere personal de mantenimiento calificado

Fuente: Elaboración propia

Actualmente hay diferentes técnicas que se llevan a cabo dentro del mantenimiento preventivo, las más usadas son:

- **Análisis de vibraciones:** como su nombre lo dice consiste en medir y analizar las posibles vibraciones que se puedan presentar en una maquina durante su funcionamiento, esto se hace por medio de equipos especializados que almacenan los datos para representarlos en graficas donde se analizara la amplitud y frecuencia de la onda obtenida.

El análisis de vibraciones permite detectar la falla o posible falla que se pueda presentar en los componentes de la maquina en estudio. “Entre las fallas más comunes están: Desbalanceo, Fallas en rodamientos, Holgura mecánica, Desalineamiento, Resonancia y Frecuencias naturales, Fallas eléctricas en

¹⁰ OLARTE, William; BOTERO, Marcela; CAÑÓN, Benhur. Técnicas de mantenimiento predictivo utilizadas en la industria. [Documento formato digital]. Pereira, Colombia: *Scientia et technica*, 2010, vol. 2, no 45, p. 223-226. Disponible en: <<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4546591>>

motores, Torsión de eje, Fallas en cajas de engranes, Cavitación en bombas y Velocidades críticas.”¹¹

- Análisis de aceites: “Las técnicas de análisis de lubricantes son fundamentales para determinar el deterioro del lubricante, la entrada de contaminantes y la presencia de partículas de desgaste”¹², permitiendo al personal de mantenimiento anticipar fallas potenciales o detectarlas en fases no tan críticas.

Según Hernández¹³ el análisis de aceites se puede clasificar en cuatro:

- Análisis físico-químico: estudia el estado del aceite.
 - Análisis de contaminantes: determina la existencia de sustancias ajenas al aceite.
 - Espectrometría: Reconoce las sustancias químicas que contaminan el aceite.
 - Ferrografía: analiza las partículas presentes y permite precisar el desgaste.
- Termografías: miden la temperatura de la superficie de los componentes de los equipos permitiendo detectar malos funcionamientos por fallas o diseños incorrectos, las cámaras termograficas permiten visualizar las temperaturas del componente en escalas de colores haciendo fácil encontrar la falla del equipo.

Las termografías son muy usadas para analizar temperaturas de rodamientos, reductores, embragues, frenos, motores eléctricos, transformadores, instalaciones eléctricas de media y alta tensión, calderas, hornos y tratamientos térmicos entre otros.

5.2.4. Mantenimiento RCM

RCM o Reliability Centred Maintenance, (Mantenimiento Centrado en Fiabilidad) es una técnica más dentro de las posibles para elaborar un plan de

¹¹ ERBESSD, Thierry. 10 Principios de análisis de vibraciones que debes conocer. [En línea]. [Consultado 23 de septiembre de 2021]. Disponible en: <<https://www.erbessd-instruments.com/es/articulos/analisis-de-vibraciones/>>

¹² PREDITEC. Análisis de aceites. [En línea]. [Consultado 23 de septiembre de 2021]. Disponible en: <<http://www.preditec.com/mantenimiento-predictivo/analisis-de-lubricantes/#>>

¹³ HERNÁNDEZ, Pedro. Análisis de aceite: todo lo que usted necesita saber sobre el tema. [En línea]. [Consultado 23 de septiembre de 2021]. Disponible en: < <https://www.alsglobal.com/%2Fes-co%2Fnews%2Farticulos%2F2018%2F07%2Fanalisis-de-aceite-todo-lo-que-usted-necesita-saber-sobre-el-tema>>

mantenimiento en una instalación industrial y presenta algunas ventajas importantes sobre otras técnicas. Inicialmente fue desarrollada para el sector de aviación, donde no se obtenían los resultados más adecuados para la seguridad de la navegación aérea. Posteriormente fue trasladada al campo militar y mucho después al industrial, tras comprobarse los excelentes resultados que había dado en el campo aeronáutico.¹⁴

El mantenimiento centrado en confiabilidad o RCM se distribuye en varias fases para llegar a su implementación:

- Fase 1: el primer paso es tener claro un inventario de cada uno de los equipos, sus respectivas partes y sistemas, ordenarlos y realizar la respectiva codificación de cada uno.
- Fase 2: determinar el funcionamiento del equipo y la función que cumplen cada uno de los sistemas y partes que lo componen.
- Fase 3: determinar con ayuda de operarios y personal de mantenimiento cuales son los fallos funcionales y técnicos que se presentan en los equipos.
- Fase 4: analizar cuáles pueden ser las posibles causas que originan cada uno de los fallos funcionales y técnicos.
- Fase 5: estudiar las consecuencias de cada uno de los modos de fallas. (todo lo anterior comprende el análisis de modos y efectos de falla AMEF)
- Fase 6: jerarquizar fallas, equipos, sistemas y partes por medio de análisis de criticidad.
- Fase 7: determinar las medidas preventivas necesarias que mitiguen o reduzcan las fallas que se presentan en los equipos.
- Fase 8: implementar las medidas preventivas propuestas.

5.3. ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA

La metodología del análisis de modo y efecto de las fallas (AMEF, FMEA, Failure Mode and Effects Analysis), proporciona la orientación y los pasos que un grupo de personas debe seguir para identificar y evaluar las fallas potenciales de un producto o un proceso, junto con el efecto que provocan

¹⁴ RCM3. Qué es RCM. [En línea]. [Consultado 25 de septiembre de 2021]. Disponible en: <<http://rcm3.org/que-es-rcm>>

estas. A partir de lo anterior, el grupo establece y decide acciones para intentar eliminar o reducir la posibilidad de que ocurran las fallas potenciales que más vulneran la confiabilidad del producto o el proceso.¹⁵

El análisis de modos y efectos de falla se presenta por lo general en tablas que están compuestas por los siguientes encabezados:

- Componente a analizar: corresponde al sistema o parte del equipo donde se presenta la falla a analizar.
- Función: este ítem describe la función que cumple el sistema o componente dentro de un proceso o equipo, una buena descripción de la función que cumple permite determinar las posibles consecuencias a causa de una falla.
- Modo de falla: el modo de falla es el fenómeno que se presenta en el sistema o componente y que no permite que este cumpla su función. “Los modos de fallo potencial se deben describir en términos “físicos” o técnicos, no como síntoma detectable por el cliente.”¹⁶
- Efecto de falla: es la consecuencia que se presenta en el proceso o producto a raíz de la presencia de la falla, esta es detectada por el trabajador o puede ser detectada por el cliente en el producto adquirido.
- Causa de falla: es la condición por mala operación o diseño que lleva a que se presente a falla en el sistema o componente.

Adicional a esto, algunos AMEF pueden contemplar un ítem para describir las medidas preventivas que se tienen implementadas y/o también índices previstos para llevar un control de la efectividad de las nuevas medidas de mantenimiento implementadas.

El índice de prioridad de riesgo o IPR “está basado en los mismos fundamentos que el método histórico de evaluación matemática de riesgos de FINE, William T., si bien el índice de prioridad del AMFE incorpora el factor detectabilidad. Por tanto, tal índice es el producto de la frecuencia por la gravedad y por la detectabilidad, siendo

¹⁵ REYES AGUILAR, Primitivo. Análisis del modo y efecto de falla de proceso (PFMEA). [Documento formato digital]. 2007, p. 2. Disponible en: < <https://es.scribd.com/document/308612935/Analisis-Del-Modo-y-Efecto-de-Falla>>

¹⁶ SEAT, S.A. Análisis modal de fallos y efectos. AMFE. NTP 679. [En línea]. España: 2004. p. 3. [Consultado 26 de septiembre de 2021]. Disponible en: < https://www.insst.es/documents/94886/326775/ntp_679.pdf/3f2a81e3-531c-4daa-bfc2-2abd3aaba4ba>

tales factores traducibles a un código numérico adimensional que permite priorizar la urgencia de la intervención, así como el orden de las acciones correctoras.”¹⁷

La frecuencia será el índice que define la cantidad de veces que se presenta la falla en un intervalo de tiempo.

Tabla 4 Probabilidad de ocurrencia del fallo

FRECUENCIA	CRITERIO	VALOR
Muy baja, improbable	Ningún fallos se asocia a procesos casi idénticos, ni se han dado nunca en el pasado, pero es concebible.	1
Baja	Fallos aislados en procesos similares o casi idénticos. Es razonablemente esperable en la vida del sistema, aunque es poco probable que suceda.	2-3
Moderada	Defecto aparecido ocasionalmente en procesos similares o previos al actual. Probablemente aparecerá algunas veces en la vida del componente/sistema.	4-5
Alta	El fallo se ha presentado con cierta frecuencia en el pasado en procesos similares o previos procesos que han fallado.	6-8
Muy alta	Fallo casi inevitable. Es seguro que el fallo se producirá frecuentemente.	9-10

Fuente: SEAT, S.A. Análisis modal de fallos y efectos. AMFE. NTP 679. [En línea]. España: 2004. p. 3. [Consultado 26 de septiembre de 2021].

La detectabilidad indicara que tan evidente es la falla o que tan fácil o complicado sea de detectar.

Tabla 5 Detectabilidad del fallo

DETECTABILIDAD	CRITERIO	VALOR
Muy alta	El defecto es obvio. Resulta muy improbable que no sea detectado por los controles existentes.	1
Alta	El defecto, aunque es obvio y fácilmente detectable, podría en alguna ocasión escapar a un primer control, aunque sería detectado con toda seguridad a posteriori.	2-3
Mediana	El defecto es detectable y posiblemente no llegue al cliente. Posiblemente se detecte en los últimos estudios de producción.	2-6
Pequeña	El defecto es de tal naturaleza que resulta difícil detectarlo con los procedimientos establecidos hasta el momento.	7-8
Improbable	El defecto no puede detectarse. Casi seguro que lo percibirá el cliente final.	9-10

Fuente: SEAT, S.A. Análisis modal de fallos y efectos. AMFE. NTP 679. [En línea]. España: 2004. p. 3. [Consultado 26 de septiembre de 2021].

La gravedad medirá que tan seriamente afecta la falla el proceso.

¹⁷ Ibid. p. 2.

Tabla 6 Gravedad del fallo

GRAVEDAD	CRITERIO	VALOR
Muy baja Repercusiones imperceptibles	No es razonable esperar que este fallo de pequeña importancia origine efecto real alguno sobre el rendimiento del sistema. Probablemente, el cliente ni se daría cuenta del fallo.	1
Baja Repercusiones irrelevantes apenas perceptibles	El tipo de fallo originaria un ligero inconveniente al cliente. Probablemente, éste observara un pequeño deterioro del rendimiento del sistema sin importancia. Es fácilmente subsanable	2-3
Moderada Defectos de relativa importancia	El fallo produce cierto disgusto e insatisfacción en el cliente. El cliente observará deterioro en el rendimiento del sistema	4-6
Alta	El fallo puede ser crítico y verse inutilizado el sistema. Produce un grado de insatisfacción elevado.	7-8
Muy alta	Modalidad de fallo potencial muy crítico que afecta el funcionamiento de seguridad del producto o proceso y/o involucra seriamente el incumplimiento de normas reglamentarias. Si tales incumplimientos son graves corresponde un 10	9-10

Fuente: SEAT, S.A. Análisis modal de fallos y efectos. AMFE. NTP 679. [En línea]. España: 2004. p. 3. [Consultado 26 de septiembre de 2021].

De esta manera el índice de prioridad del riesgo será: $IPR = F \cdot D \cdot G$

5.4. ANÁLISIS DE CRITICIDAD

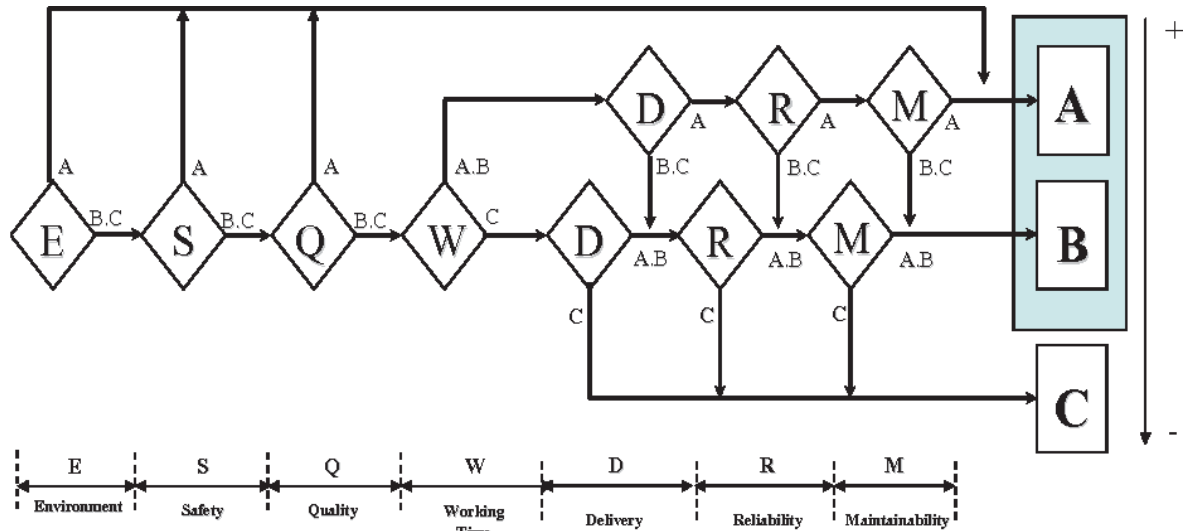
El análisis de criticidad permite jerarquizar los activos de una empresa que intervienen en un proceso, así como los sistemas y componentes de cada uno de estos, permitiendo conocer su importancia o impacto según ciertos criterios como frecuencia de falla, impacto en el proceso, seguridad, costos de mantenimiento entre otros. Existen diversos métodos de análisis de criticidad que se clasifican en cualitativos, semicuantitativos y cuantitativos.

5.4.1. Análisis de criticidad cualitativo

Este método de análisis de criticidad jerarquiza los activos o procesos a analizar en categorías a las que asigna un nivel crítico, las categorías son catalogadas como A, B y C siendo crítico, medianamente crítico y no crítico respectivamente. “Para llegar a esa clasificación final se procede de forma secuencial a realizar una serie de preguntas al equipo natural de trabajo conformado en la empresa para tal fin. La secuencia marca la importancia que da el equipo de trabajo a cada atributo que se analiza a la hora de establecer la prioridad del mismo. De alguna forma, el orden en

la secuencia marca el peso que damos en nuestra gestión a cada uno de los atributos.”¹⁸

Figura 2 Flujoograma de criticidad



Fuente: CRESPO MÁRQUEZ, Adolfo. The maintenance management framework: models and methods for complex systems maintenance. [Libro]. Springer Science & Business Media, 2007. p. 139. [Consultado 30 de septiembre 2021]. Disponible:<
<https://books.google.com.co/books?id=L-rA9yccgpEC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>>

Los criterios representados en la figura 2 junto con el diagrama de flujo definirán la criticidad del equipo o proceso. Los criterios serán:

- Medio ambiente: este atributo indica que nivel de afección se puede presentar en el medio ambiente en caso de una falla.
- Seguridad: establece el nivel de seguridad del equipo durante una falla y que tanto puede llegar a afectar al personal operativo.
- Calidad: este criterio indica que tan grave puede ser afectada la calidad del producto en caso de una falla.
- Tiempo de trabajo: indica el tiempo de trabajo del equipo en cada jornada.
- Impacto: hace referencia al retraso que puede generar en la producción de la empresa.

¹⁸ PARRA MÁRQUEZ, Carlos y CRESPO MÁRQUEZ, Adolfo. Técnicas de ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicadas en el proceso de gestión de activos. Nota técnica 5: Métodos de análisis de criticidad y jerarquización de activos. [Documento formato digital]. Ingeman, 2012, vol. 5. p. 2.

- Fiabilidad: “se relaciona con la frecuencia de fallo que pueda existir en un activo que no se mantiene correctamente.”¹⁹
- Mantenibilidad: “Este criterio se relaciona con el tiempo medio necesario para reparar un fallo.”²⁰

5.4.2. Análisis de criticidad semicuantitativo

El método semicuantitativo pondera los criterios con índices numéricos y determina el nivel de criticidad del equipo evaluado por medio de una matriz. Parra y Crespo²¹ definen la criticidad como el producto de la frecuencia de falla por la consecuencia.

$$CTR = FF \times C$$

Y la consecuencia estará definida por

$$C = (IO \times FO) + CM + SHA$$

Donde IO será el impacto operacional, FO la flexibilidad operacional del equipo, CM los costos de mantenimiento y SHA contemplara la seguridad la higiene y el medio ambiente.

Figura 3 Matriz de criticidad

FRECUENCIA	4	MC	MC	C	C	C
	3	MC	MC	MC	C	C
	2	NC	NC	MC	C	C
	1	NC	NC	NC	MC	C
		10	20	30	40	50
		CONSECUENCIA				

PARRA MÁRQUEZ, Carlos y CRESPO MÁRQUEZ, Adolfo. Técnicas de ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicadas en el proceso de gestión de activos. Nota técnica 5: Métodos de análisis de criticidad y jerarquización de activos. [Documento formato digital]. Ingeman, 2012, vol. 5. p. 2.

¹⁹ Ibid. p. 3.

²⁰ Ibid. p. 3.

²¹ Ibid. p. 5.

Es así, que al obtener el índice numérico total de la consecuencia y cruzarlo en la matriz con la frecuencia de falla se obtiene el nivel de criticidad del equipo.

6. EQUIPOS

El área de figuración como ya se ha mencionado, cuenta con un buen número de máquinas de diferentes marcas que cumplen diversas funciones, las cuales están constituidas por sistemas eléctricos, mecánicos, electrónicos, hidráulicos y/o neumáticos que son importante conocer para complementar el estudio de fallas.

6.1. ESTRIBADORAS

Son máquinas automáticas que figuran y cortan estribos de barra de acero según parámetros establecidos por el operario de acuerdo a los requerimientos del sector construcción, estas están compuestas por componentes mecánicos, eléctricos, electrónicos y además pueden ser neumáticas o hidráulicas.

6.1.1. Estribadoras MEP FOCUS 12

La estribadora MEP FOCUS 12 es de tipo hidráulica, funciona con una tensión trifásica nominal de 440 V y según el fabricante puede operar corte y doblado de perfil de barra de acero de máximo 12 mm.

Figura 4 Estribadora MEP FOCUS 12



Fuente: Autor

Mep Group²² describe la estribadora en grupos de sistemas:

- Devanadora de rollos: está constituida por una base metálica sólida sobre la que están los dos portarrollos de bobinas de barra de acero, los cuales giran y permiten que el material se desenrolle para entrar a la máquina, la velocidad de giro de los portarrollos es controlada automáticamente por medio de un freno hidráulico.
- Cuadro de mandos: allí se encuentran el teclado y monitor del comando general donde se configura la máquina, además de los accionamientos como parada de emergencia, interruptor de encendido y potenciómetros de velocidad de arrastre y doblado.
- Grupo prealimentador: este sistema ingresa la barra de acero a la máquina por medio de rodillos paralelos por los que pasa la varilla, uno de los rodillos es impulsado por un pequeño motor hidráulico (rodillo motorizado de arrastre) y el otro rodillo (rodillo presor) posee un sistema de desplazamiento vertical que permite ajustar su altura para presionar la varilla contra el rodillo motriz para generar el desplazamiento del acero hacia el sistema de rodillos de enderezado.
- Grupo de enderezamiento y remolque: consta de una serie de rodillos de libre giro que están encargados de realizar un enderezado preliminar de la barra de acero en el plano vertical, los rodillos superiores cuentan con un sistema que permite regular su altura y así ajustar el sistema de enderezado al calibre del material con el que se va a trabajar. Adicional al sistema de rodillos de enderezado previo, se encuentra el sistema de remolca la barra de acero, este consta de una rueda metálica (Rueda de remolque) que es impulsada por un motor hidráulico y paralela a esta se encuentra un sistema de rodillos (rodillos opuestos) que presionan la barra contra la rueda para imprimir el avance de esta.
- Grupo acabador de enderezamiento horizontal: se encuentra después del grupo de enderezado y remolque y está compuesto por un par de rodillos provistos de un sistema de regulación de posición en el plano horizontal (rodillos acabadores horizontales) y un rodillo paralelo a estos (rodillo de contraste) que presiona la barra de acero contra los acabadores horizontales y así dar la corrección a la desviación que tiene la barra en el plano horizontal.
- Grupo de enderezamiento vertical: en este grupo se encuentra el sistema que mide el avance de la barra de acero, esto lo hace por medio de un par de rodillos paralelos, el primer rodillo (rodillo copiador) está conectado por un

²² MEP GROUP. Manual de uso y mantenimiento estribadora FOCUS 12.

mecanismo a un encoder que envía la señal análoga al comando general y el segundo rodillo (rodillo antagonista) presiona la barra de acero contra el rodillo copiador, esto permite evidenciar el avance de la barra de acero. Además, hay un par de rodillos sobrepuestos (rodillos acabadores verticales) que cuentan con un mecanismo que permite ajustar su altura, esto para realizar un enderezado de la varilla en el plano vertical y corregir posibles desviaciones.

- Grupo cizalla: mandíbula accionada por un cilindro hidráulico, que ejecuta el corte cuando el estribo está terminado.
- Grupo curvador: está encargado de realizar el doblado de la barra de acero para formar el estribo, esto lo hace por medio de un disco o plato (mandril de curvado) que gira por el impulso de un motor hidráulico controlado por el comando general, las herramientas de doblado ajustadas al plato ejercen la fuerza sobre la barra de acero doblándola.
- Grupo tanque de central hidráulica: allí se alberga el aceite con el que trabaja la máquina y se monitorea la temperatura por medio de termostatos y el nivel óptimo de aceite.
- Grupo de filtración y enfriamiento: se encarga de regular la temperatura del aceite cuando es alta, esto lo hace por medio de una bomba que hay en el tanque y hace circular el aceite por un intercambiador de calor. Cuando el aceite vuelve al tanque pasa por un filtro que retiene partículas contaminantes.
- Grupo bomba: consta una bomba que pone en circulación el aceite y hace que este llegue hacia cada uno de los actuadores y dispositivos de la máquina, proporciona la presión y caudal ideales que son regulados por dispositivos y accesorios del sistema oleodinámico.
- Grupo electroválvulas: se encargan de dirigir el aceite hidráulico hacia los diferentes actuadores según la señal eléctrica que envíe el comando general a estas.

6.1.2. Estribadora SCHNELL FORMULA 12

La estribadora SCHNELL FORMULA 12 es de tipo eléctrica-neumática, funciona con una tensión trifásica nominal de 220 V y según el fabricante puede operar corte y doblado de perfil de barra de acero de máximo 12 mm.

Figura 5 Estribadora SCHNELL FORMULA 12



Fuente: Autor

La devanadora de rollos y el grupo mando de esta máquina funcionan similar a la estribadora MEP FOCUS 12, inicialmente a la entrada de la maquina se encuentra un grupo de rodillos de enderezado preliminar y enseguida se encuentra un grupo de 4 rodillos (dos libres y 2 motrices) que realizan el remolque de la barra, los rodillos motrices se mueven por medio de un motor eléctrico cada uno y son controlados por el comando general de la máquina, por otro lado, los rodillos libres cuentan con un sistema de regulación de altura neumático y presionan la barra de acero contra los motrices para generar el avance. Luego del grupo de remolque se encuentran los rodillos que realizan la corrección o el acabado del enderezado en el plano horizontal y vertical, estos rodillos están provistos de sistemas de regulación de altura y posición horizontal.

El sistema de corte y doblado son accionados por un motor eléctrico cada uno, un cilindro neumático permite la entrada y salida del mandril de doblado cuando se termina el estribo y se realiza el corte.

6.1.3. Estribadora MEP FORMAT 12 HS

La estribadora MEP FORMAT 12 HS es de tipo hidráulica, funciona con una tensión trifásica nominal de 440 V y según el fabricante puede operar corte y doblado de perfil de barra de acero de máximo 13 mm.

Su funcionamiento y sistemas o grupos son muy similares al modelo FOCUS 12.

Figura 6 Estribadora MEP FORMAT 12 HS



Fuente: Autor

6.2. DOBLADORAS

Las dobladoras son máquinas semiautomáticas que permiten doblar y figurar perfiles de varilla de acero según se requiera. Son máquinas más pequeñas y sencillas que las estibadoras pero no menos importantes en el proceso de figuración.

6.2.1. Dobladoras MEP P140 SE, MEP P140 HPE y OMES P140 E

Las dobladoras MEP P140 SE, MEP P140 HPE y OMES P140 E operan con una tensión nominal trifásica de 440 V y son muy similares en sus sistemas, su funcionamiento se puede comprender en tres grupos principales:

- Mando y control: comprende el circuito de control, el controlador, el pedal de accionamiento y los selectores de mando. El circuito de control contiene todos los accionamientos y accesorios que operan la máquina, estos reciben las señales del controlador que posee toda la programación como ángulos de doblado y figuras a realizar, el operador puede configurarlos por medio de un teclado y una pequeña pantalla de visualización. El pedal debe ser presionado para ejecutar la operación programada en la máquina.
- Grupo motor-reductor: encargado de transmitir el movimiento al plato de doblado por medio de una caja reductora que es impulsada por un motor

eléctrico. El motor cuenta con un sistema de electrofreno que permite tener una gran precisión para doblar la barra de acero al ángulo deseado.

- Banco de trabajo: allí es donde se realiza el plegado de la barra de acero, el operario apoya el material en la tapa superior y ejecuta la orden por medio del pedal, el plato gira ejerciendo una fuerza sobre la barra de acero por medio de los bulones (herramientas de doblado) figurando el acero al ángulo programado.

Figura 7 Dobladora MEP P140 HPE



Fuente: Autor

Figura 8 Dobladora OMES P140 E



Fuente: Autor

Las maquinas aunque son muy similares poseen algunas diferencias, la marca MEP realiza el sensado del ángulo de doblado por medio de un encoder mientras que la marca OMES lo hace por medio de un resolver (rodamiento con sensor de posición), además el modelo P140 HPE de la marca MEP es la única dobladora que posee un ventilador independiente para refrigerar la bobina del electrofreno.

6.2.2. Dobladora SCHNELL P/45 PRO 2C

Las dobladoras SCHNELL operan con una tensión nominal trifásica de 440 V y su funcionamiento y sistemas son muy similares a las dobladoras MEP u OMES, su diferencia más notable es que la transmisión de potencia del motor eléctrico a la caja reductora no se hace directamente por medio de un piñon sino que se transmite por medio de correas. La capacidad máxima de diámetro de barra de acero que puede doblar es de 36 mm.

Figura 9 Dobladora SCHNELL P/45 PRO 2C



Fuente: Autor

6.2.3. Dobladora ALBA DAE-16-2S

Es una dobladora de menor capacidad, según fabricante figura barras de acero de hasta 12mm. No posee un controlador digital como las demás sino que su funcionamiento se da gracias a un circuito análogo.

Figura 10 Dobladora DAE-16-2S



Fuente: Autor

6.3. CALANDRIAS

Figura 11 Calandria CAL 34



Fuente: Autor

Las calandrias o máquinas de calandrado permiten realizar bobinados, espirales, círculos y arcos con varilla. Esto lo realiza por medio de tres rodillos colocados de tal manera que forman un triángulo donde se regulan las distancias para dar al material la curvatura deseada. Su funcionamiento es muy simple ya que un motor eléctrico transmite el movimiento por medio de correas al rodillo motriz y es accionada por medio de un pedal. La calandria MEP CAL 132 puede trabajar barra de acero hasta de máximo 32 mm y la calandria CAL 34 hasta 36 mm.

Figura 12 Calandria MEP CAL 132



Fuente: Autor

6.4. CIZALLAS

Son máquinas de gran potencia cuya función es realizar el corte de una o más barras de acero al mismo tiempo y en tan solo un instante. Por lo general las cizallas realizan el corte de varillas de gran calibre y cuya longitud debe ser larga y/o requiere ser figurada mediante dobladora.

6.4.1. Cizallas HILL ACME serie "CANTON"

Son cizallas de corte tipo caimán, reconstruidas y repotenciadas por GENSCO EQUIPEMENT, su sistema de funcionamiento es electro-neumático. Inicialmente un motor eléctrico (10 hp para modelos CANTON 22A y 15 HP para modelo CANTON 44A) transmite potencia a una especie de volante por medio de tres correas trapezoidales, el volante trae internamente un embrague EATON (airflex) de tipo neumático el cual al dar la orden de realizar el corte se acciona transmitiendo el movimiento del volante a un eje-piñon engranado con una corona que hace parte

de un mecanismo con principio de cuatro barras que hace que baje la mandíbula y realice el corte de las barras de acero. Cada giro de la corona es un ciclo de corte (baja y sube la mandíbula), es por eso que la corona tiene acoplado a su eje una pequeña leva que acciona un fin de curso que desenchava el circuito de control del embrague parando el accionamiento de la cizalla. Adicionalmente, cuando se acciona el corte un cilindro neumático baja un sistema de pisado que no permite el salto de las barras de acero al cortarlas.

Figura 13 Cizalla HILL ACME CANTON 44A



Fuente: Autor

6.4.2. Cizalla ALBA CRM 55

Es mucho más pequeña que las cizallas HILL ACME, su función dentro del proceso es auxiliar. Posee el mismo principio de funcionamiento que las cizallas principales pero el embrague es mecánico (deshabilitado). Tiene un motor de 4 hp que funciona con una tensión trifásica nominal de 440 V.

Figura 14 Cizalla ALBA CRM 55



Fuente: Autor

6.5. LÍNEAS DE RODILLOS

Son una estructura que complementa las cizallas y su función principal es el transporte de la varilla que se corta, cada rodillo tiene un motor eléctrico del cual recibe la potencia por medio de correas. Los rodillos están montados paralelamente sobre una estructura metálica y separados cierta distancia, la superficie de la estructura está cubierta por unas bandejas que no permiten que las varillas se atasque o se caigan, los rodillos sobresalen un poco de entre las bandejas para poder transportar el material a cortar.

La línea de rodillos de cada cizalla está compuesta por tres secciones (cada una con entre 8 a 10 rodillos), la primera sección esta antes de la cizalla y la alimenta con material para cortar, las dos restantes están contiguas a la cizalla y reciben el material cortado. La sección dos tiene una estructura dotada de dos topes que se pueden ajustar a lo largo de esta y fijar la longitud de corte del material, los topes además del desplazamiento a lo largo de la sección de rodillos tienen un mecanismo que es accionado neumáticamente para que después de realizar el corte se pueda levantar la lámina donde chocan la varillas y se puedan transportar a la siguiente sección de rodillos. Por último, la sección tres distribuye las varillas cortadas a las dobladoras que se encuentran a los costados y así realizar el respectivo figurado.

6.6. PUENTES GRÚA

Permiten realizar labores de cargue y descargue de material así como alimentar cada una de las maquinas que hacen parte del proceso de figuración, el área cuenta con seis puentes tipo birriel con polipasto ABUS manipulado por control inalámbrico (tres con capacidad de máxima de hasta 5 toneladas y tres con capacidad máxima de hasta 10 toneladas) y dos puente grúa birriel con cabina (uno de los puentes deshabilitado).

Los puentes aunque no intervienen directamente en el proceso de producción, si son indispensables para realizar el movimiento de cargas. Están compuestos por la viga principal que se traslada por medio de las 4 ruedas a lo largo de los rieles apoyados sobre las columnas de la nave, en cada extremo de la viga se encuentra una rueda libre y una rueda motriz impulsada por un motorreductor.

Sobre el puente o viga principal se encuentran los rieles sobre los cuales se desplazan las cuatro ruedas del carro, igual que con el puente hay dos ruedas libres y dos motrices impulsada por un motorreductor. El gancho asciende y desciende por medio de una guaya de acero que se enrolla en un tambor accionado por un motorreductor de gran potencia.

Los puentes con polipasto ABUS se operan por medio de un control inalámbrico que envía una señal de cierta frecuencia a un receptor conectado al circuito de control que acciona los sistemas traslación puente, traslación carro y gancho. El puente con cabina cuenta con una consola de mando allí mismo, que está conectada directamente al circuito de control.

Figura 15 Puente grúa birriel ABUS



Fuente: HANSECOL S.A.S. Disponible en:
<<https://www.hansecol.com.co/nosotros/>>

7. ESTUDIO DE FALLAS

7.1. PLAN DE MANTENIMIENTO ACTUAL

El mantenimiento actualmente implementado en el área de figuración comprende tanto tareas preventivas como también actividades de control ejecutadas cada cierto periodo por el personal de mantenimiento, dichas tareas son emitidas semanalmente en órdenes de trabajo (O.T.) y rutas de trabajo de mantenimiento.

Las órdenes y rutas de trabajo son generadas por el software de mantenimiento INFOMANTE, estas constan de tareas como:

- Limpieza de circuitos eléctricos y electrónicos
- Ajuste de contactos de circuitos eléctricos y electrónicos
- Aseo general de equipos
- Engrase y lubricación de partes móviles
- Revisión y control de desgastes

- Cambio de filtros
- Cambio de aceite hidráulico
- Cambio de aceite lubricante
- Revisión de nivel de aceite en depósitos de maquinas
- Sopleteo de circuitos
- Revisión de dispositivos de parada de emergencia
- Revisión de dispositivos de maniobra de las maquinas
- Inspección y registro de lectura de horometros

Las anteriores actividades entre otras están basadas en recomendaciones de los fabricantes de los equipos expuestas en sus manuales, propuestas hechas en reuniones del área de mantenimiento y experiencia de los técnicos de mantenimiento de figuración.

7.2. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Para poder realizar el estudio de fallas es necesario acceder a la información disponible sobre reparaciones, mantenimientos y fallas presentadas en los equipos y que dichos datos estén registrados con fechas exactas. Adicionalmente, es importante conocer cada uno de los equipos, los manuales de estos, el funcionamiento de sus sistemas y contar con la información que pueda brindar el personal de mantenimiento del área.

7.2.1. Manuales de equipos²³

Los manuales son parte vital de la recolección de información ya que permiten conocer el funcionamiento de cada uno de los sistemas y componentes de los equipos, las recomendaciones para el personal que los opera, la capacidad máxima de operación, las tareas de mantenimiento sugerido y los planos eléctricos y mecánicos. Esta información ayudara comprender mejor las fallas que se presenten y los síntomas detectados por los operarios o representados en la calidad del producto final.

²³ NOTA: Los manuales de cada uno de los equipos del área de figuración no se anexan en este trabajo ya que está prohibida su reproducción por las casas fabricantes, estos están disponibles solo para uso interno de Grupo Siderúrgico Reyna.

7.2.2. Registro de historial de fallas

El historial de fallas permite obtener información sobre cada una de las fallas que se han presentado así como algunos de los síntomas que han sido detectados. De manera general en toda la planta se tiene un formato de reporte de turno donde los técnicos de mantenimiento eléctrico y mecánico escriben todas las novedades, fallas presentadas, reparaciones y actividades de mantenimiento preventivo realizadas durante cada uno de los 3 turnos del día.

La información allí consignada no está tabulada ni sistematizada, solamente tiene un orden cronológico y se encuentra por separado el área mecánica de la eléctrica. Para el registro del historial de fallas se ha diseñado un formato que permite tener la información disponible en los reportes de turno de una manera más organizada.

Tabla 7 Formato de registro de fallas, ajustes, mantenimiento y novedades

Fecha	Equipo	Componente	Síntoma o falla	Reparación	Mtto. Program.	Repuesto

Elaboración propia

El formato de registro desglosa las actividades reportadas durante cada uno de los turnos, ofreciendo una organización preliminar para el posterior análisis de fallas, identificando el equipo, el componente que fallo, el síntoma y/o falla, la respectiva reparación que se hizo y si se hizo un cambio de componente (repuesto), la columna de mtto. Program. identifica cuando la actividad reportada es un mantenimiento preventivo programado.

En el **Anexo A.** se encuentra el historial de fallas, ajustes, mantenimientos y novedades registrados en el formato designado. La información corresponde del mes de noviembre de 2020 al mes de agosto de 2021.

7.2.3. Información complementaria

El talento humano que realiza el mantenimiento mecánico y eléctrico a cada uno de los equipos puede suministrar información importante para complementar el historial de fallas, conocer síntomas de fallas y comprender mejor el funcionamiento de los sistemas presentes en los equipos y los diferentes repuestos usados, esto debido a su conocimiento técnico y la experiencia en el área. El **Anexo B.** contiene las preguntas hechas al personal de mantenimiento y sus respectivas respuestas.

7.3. ORGANIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN

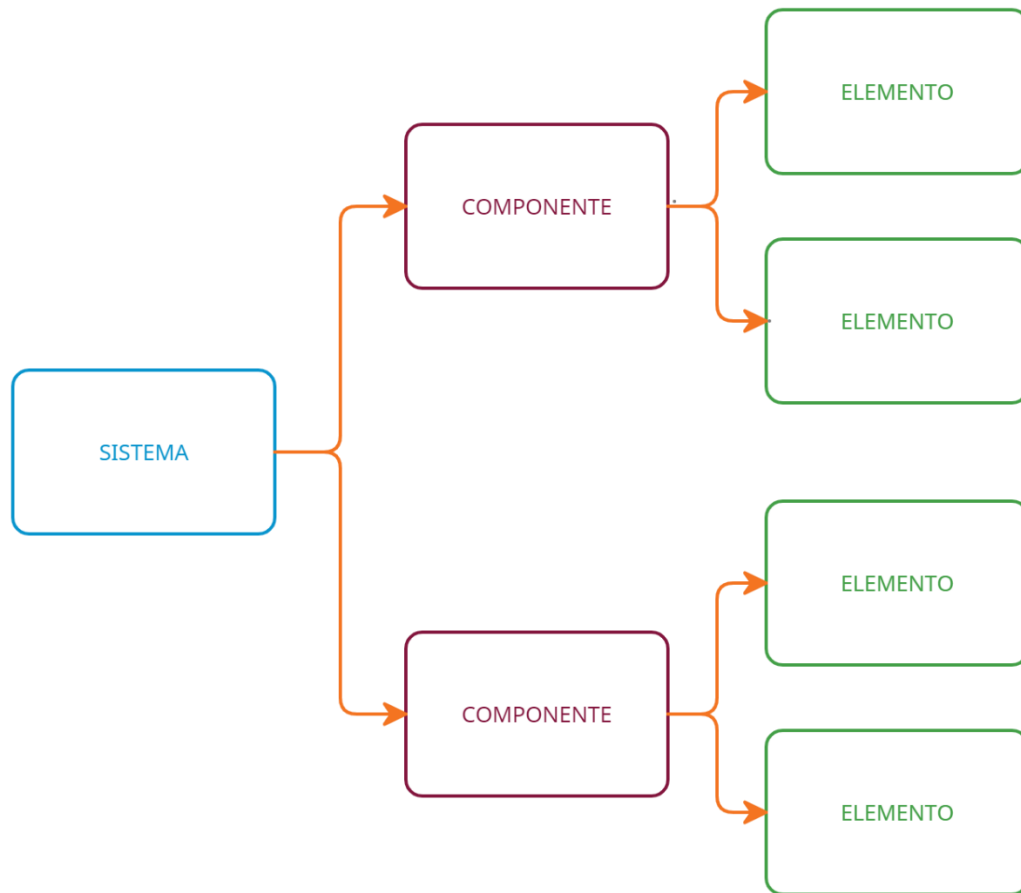
7.3.1. Clasificación de componentes de equipos

Comúnmente las máquinas y equipos de tipo industrial son algo complejas ya que poseen diversos sistemas y gran cantidad de partes, esto hace que para poder realizar el análisis propuesto se obtengan grandes listas de componentes de las máquinas que hacen que se vuelva un proceso engorroso e inclusive se presenten confusiones por designación de nombres idénticos.

Para evitar los inconvenientes anteriormente expuestos, se deben clasificar los componentes de las máquinas, es decir dividirlos en categorías e incluso subcategorías. Así, cada equipo se dividirá en tres niveles de jerarquía que son sistema, componente y elemento, de tal manera que:

- Sistema: está compuesto por un grupo de componentes que juntos realizan una función dentro del equipo.
- Componente: son el segundo nivel jerárquico, aunque son simples, están compuestos por elementos más pequeños y sencillos.
- Elemento: son el nivel jerárquico más bajo y son los que presentan la falla que hace que el sistema no cumpla su función o hacen que funcione inadecuadamente.

Figura 16 Clasificación de componentes de equipos



Fuente: Autor

7.3.2. Normalización de nombres y términos

El lenguaje técnico es parte fundamental en mantenimiento, este permite tener una comunicación clara entre las personas que desempeñan una función en el área, evitando malos entendidos, confusiones y/o ejecución incorrecta de operaciones.

En muchas empresas es común que no se maneje el lenguaje técnico a cabalidad y se termine poniendo uno o más "apodos" o términos incorrectos a maquinas, repuestos, partes de equipos y/o procesos entre otros. Dicho uso incorrecto del lenguaje no permite desarrollar eficientemente planes y estudios de mantenimiento, por esto se hace necesario realizar una normalización y corrección de varios términos técnicos usados por el personal que realiza el mantenimiento de figuración para referirse a partes de los equipos.

7.3.3. Creación de base de datos digital

Digitalizar toda la información recolectada facilita el manejo de datos ya que son demasiados, además, permitirá obtener otros como lo son la frecuencia con que se presentan las fallas, la cantidad de repuestos por mes entre otros. Para crear la base de datos con el historial de fallas se diseñó una interfaz en EXCEL que permite registrar fecha, equipo, marca, numero de equipo, sistema, componente, elemento, falla, repuestos usados y síntoma de falla.

Registrar la información de esta manera hace necesario crear menús con listas desplegables, evitando así errores que se generarían digitando dato por dato. Los menús para cada una de las maquinas así como el listado de fallas se hacen contemplando un lenguaje técnico adecuado y usando la mayoría de la terminología que aparece en cada uno de los manuales de los equipos.

Figura 17 Interfaz de registro de fallas en base de datos

The screenshot displays an Excel spreadsheet with a teal-themed interface for recording equipment failures. The title bar reads "REGISTRO DE FALLAS EN EQUIPOS DEL ÁREA DE FIGURACIÓN GRUPO SIDERÚRGICO REYNA SAS". The interface includes a date selector (Year: 2021, Month: 08, Day: 31), a logo for "GSR GRUPO SIDERÚRGICO REYNA", and several input fields: "Equipo:" (with a dropdown menu showing "Calandria", "Cilindro", "Filtro", "Entradora", "Llave Rodillos", "Polleaste", "Punto Gasa", "Rotadora"), "Sistema:", "Tipo Falla:", "Síntoma:", "Marca:", "Componente:", "Falla:", "Observ:", "Numero Equ.:", "Elemento:", "Repuesto:", "Cant.:", and "Repuestos ad.". At the bottom, there are icons for saving, deleting, and refreshing data. The Excel ribbon at the top shows "ARCHIVO", "INICIO", "INSERTAR", "DISEÑO DE PÁGINA", "FÓRMULAS", "DATOS", "REVISAR", "VISTA", and "DESARROLLADOR". The status bar at the bottom indicates "LISTO" and "80%" zoom.

Fuente: Autor

Cabe aclarar que debido a la gran cantidad de componentes de cada una de las máquinas, los menús creados solo contienen las partes que aparecen en el historial de fallas. La interfaz de registro de fallas junto con la base de datos se encuentra en el **Anexo C.**, además del documento con la clasificación de componentes de las máquinas para los menús de la interfaz.

Tabla 8 Clasificación de componentes para menú dobladoras MEP y OMES

Sistema	Componente	Elemento
Mando_y_control_Dobl	Pedal_accionamiento	Cable_pedal
		Bloque_contacto
	Paro_emergencia_Dobl	Paro_emergencia_Dobl
		Cable_paro_emerg_dobl
	Selector_Dobl	Selector_Dobl
		Cable_selector_dobl
	Controlador_dobl	Controlador_dobl
		Tecla_controlador_dobl
		Fusible
	Alimentacion_dobladora	Cable_alimentacion_dobladora
	Circuito_control_dobl	Contactor
		Contacto_aux_dobl.
		Fusible
Fin_curso_tapa_dobl		
Grupo_motoreductor	Motor_Dobl	Motor_Dobl
		Eje_motor_Dobl.
		Ventaviola
	Electrofreno_Dobl	Piñon
		Bobina
		Disco_freno
		Contraiman
		Resortes
	Tornillos guia	
	Motoventilador	Motoventilador
Eje_central_plato	Eje_central_plato	
Reductor_dobl	Empaquetaduras_y_sellos	
	Reductor_pequeño	
Sensores_Dobl	Enconder_Dobl	Enconder_Dobl
		Acople_eje-encoder
	Fin_curso_Dobl	Sensor_y_leva_fin_curso_Dobl
	Resolver_Dobl	Resolver_Dobl
Fin_curso_proteccion_dobl	Fin_curso_proteccion_dobl	
Banco_de_trabajo	Bloque_corredizo	Bloque_corredizo
	Plato_dobl	Plato_dobl
	Tapa_superior	Tapa_superior

Fuente: Autor

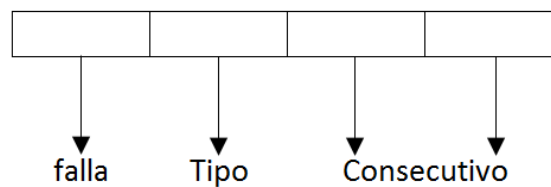
7.4. CODIFICACIÓN DE FALLAS Y SÍNTOMAS

En las empresas es muy común usar códigos para identificar plantas, áreas, procesos, equipos, partes y repuestos entre otros, actuando como una referencia usada en ordenes de trabajo, rutas de mantenimiento, historiales de falla, etc. La

codificación puede ser un número aleatorio generado por el software de mantenimiento o un código que entregue información o tenga un significado.

El sistema de códigos no solamente puede ser usado para los activos de las empresas, estos también pueden identificar tareas de mantenimiento, síntomas y fallas. Por lo general las codificaciones en mantenimiento usan combinaciones alfanuméricas, de esta manera las fallas se codificarán así,

Figura 18 Esquema de codificación de fallas



Fuente: Autor

Donde, el primer carácter será la letra F que identificara la palabra falla, el segundo carácter es el tipo de falla que podrá ser mecánica (M) o eléctrica (E), los últimos dos caracteres son números consecutivos desde 00 hasta 99 y será un identificador único para cada grupo de falla.

Tabla 9 Codificación fallas electricas

ELECTRICAS	CODIFICACION
Bobina dañada	FE01
Bobinado quemado	FE02
Contactos dañados	FE03
Contactos sucios	FE04
Cortocircuito	FE05
Daño interno	FE06
Desajuste de contactos	FE07
Distancia no optima	FE08
Fusible abierto	FE09
Pixeles dañados	FE10
Punto cero encoder desfasado	FE11
Sobrecorriente	FE12

Fuente: Autor

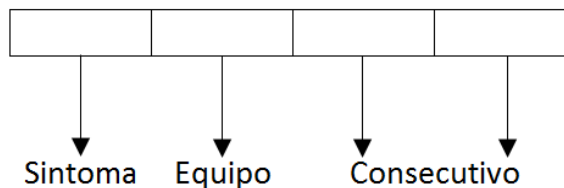
Tabla 10 Codificación fallas mecánicas

MECANICAS	CODIFICACION
Atascamiento	FM01
Cuadrante dañado	FM02
Daño empaquetadura	FM03
Deformación	FM04
Dentado dañado	FM05
Desajuste	FM06
Desajuste de mangueras y/o acoples	FM07
Desajuste entrehierro	FM08
Desgaste	FM09
Eje dañado	FM10
Imperfecciones	FM11
Perdida de compresión	FM12
Perdida de elongación	FM13
Pista o carrete rayado	FM14
Regulación de altura incorrecta	FM15
Regulación de apertura incorrecta	FM16
Regulación de posición incorrecta	FM17
Rosca dañada	FM18
Rotura	FM19
Rotura de mangueras y/o acoples	FM20
Suciedad	FM21

Fuente: Autor

Para la sintomatología de falla el primer carácter corresponde a la letra S indicando que el código hace referencia a un síntoma, el segundo carácter indicara el tipo de máquina y las letras se usaran como lo indica la Tabla 11, por último se usaran dos caracteres numéricos como en la codificación de fallas.

Figura 19 Esquema de codificación de síntomas



Fuente: Autor

Tabla 11 Carácter identificador de equipo

Equipo	Carácter
Estribadora	E
Dobladora	D
Polipasto	P
Cizalla	C
Linea rodillos	L
Puente grua	G
Roladora	R
Calandria	A

Fuente: Autor

En el **Anexo D.** se encuentra el listado de fallas, síntomas de cada equipo y su respectiva codificación.

7.5. ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMEF)



Cuando se ha normalizado los términos y nombres de los componentes de los equipos, las fallas y la mayoría de los síntomas se puede realizar el análisis de modos y efectos de falla. En el numeral 5.3 de este documento se destacaba que el objetivo de la metodología AMEF además de conocer las fallas, es analizar el ¿Por qué se presentan? y evaluar sus consecuencias, es decir la causa y efecto. La información consignada en el análisis permitirá proponer las medidas preventivas necesarias.

Para poder determinar las posibles causas y efectos de falla es muy importante conocer la función que cumple cada uno de los componentes en los respectivos sistemas de los equipos, esta información permitirá entender lo que puede suceder cuando se presenta la falla.

Con la metodología AMEF se determinaron diversos tipos de causas como malas operaciones por parte de personal de producción, sobrecargas en las máquinas, fallas súbitas, cumplimiento de vida útil de componentes, falta de buenas prácticas de mantenimiento, entre otras.

El **Anexo E.** contiene los análisis de modos y efectos de falla de cada una de los equipos de figuración.

Tabla 12 Fragmento AMEF de cizalla HILL ACME serie CANTON

AMEF (ANALISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA)						
		EMPRESA: GRUPO SIDERURGICO REYNA				
AREA: FIGURACION		EQUIPO: CIZALLAS	MARCA: HILL ACME	MODELO: CANTON 22A Y 44A		
PROCESO: CORTE DE VARILLAS		REALIZADO POR: YEISSON ANDRES MARTINEZ HIGUERA		VERSION: AGOSTO 2021		
SISTEMA	COMPONENTE	ELEMENTO	FUNCION	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA	CAUSA DE FALLA
Grupo corte cizalla	Brazo cizalla	Eje brazo	Sirve de punto de apoyo para el movimiento del brazo y lo acopla a la base.	Desajuste	<ul style="list-style-type: none"> • Se cae el eje. • Se desajusta brazo de cizalla. 	<ul style="list-style-type: none"> • Vibraciones sacan tornillo o pin de seguridad del eje por lo que este se desajusta o se cae totalmente.
	Mandíbula	Cuchillas fija y móvil cizalla	Par de piezas metálicas usadas para cortar las barras de acero en la cizalla. Una esta fija en la base y la otra esta ajustada al brazo.	Desgaste	<ul style="list-style-type: none"> • Atascamiento del brazo. • Esfuerzo para realizar corte causa sobrecorriente en motor y protección actúa. • Varillas se doblan al realizar el corte. 	<ul style="list-style-type: none"> • Cumplimiento de vida útil. • Cantidad de varillas a cortar se pasa del nominal recomendado por fabricante, acelerando desgaste.
	Electroválvula corte cizalla	Electroválvula corte cizalla	Permite el flujo de aire para accionar el sistema de transmisión AIRFLEX que mueve el brazo para efectuar el corte de las barras de acero.	<ul style="list-style-type: none"> Atascamiento Bobina dañada Desajuste de contactos 	<ul style="list-style-type: none"> • No acciona el corte. • No termina corte. • No acciona el corte. • No acciona el corte. 	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de lubricación interna. • Presencia de material particulado (calamina, polvo) en interior de válvula. • Carrete y/o pista tienen imperfecciones o están rayados a causa de suciedad en el interior. • Cortocircuito. • Cumplimiento de vida útil. • Calentamiento de bobina por constante accionamiento. • Vibraciones desajustan conectores. • Golpes con objetos.

Fuente: Autor

7.6. ANÁLISIS DE CRITICIDAD

Observando y analizando las cualidades que brinda cada una de las metodologías de análisis de criticidad (cualitativa, semicuantitativa y cuantitativa) se decide usar los modelos cualitativo y semicuantitativo.

7.6.1. Análisis de criticidad para equipos (cualitativo)

El modelo cualitativo es ideal para el análisis de criticidad de los equipos dentro del proceso general de producción ya que los criterios de tiempo de trabajo e impacto permiten evaluar la importancia de cada uno de estos en el área de figuración. La gran ventaja de los modelos de criticidad es su versatilidad, es decir que se pueden acondicionar a las diferentes industrias y procesos.

Basado en el diagrama de flujo de decisión de Crespo²⁴ y acondicionándolo al área de figuración se evaluarán los criterios de seguridad, calidad del producto, tiempo de trabajo, impacto en la producción, frecuencia de falla y costos de mantenimiento. El criterio que evalúa el impacto en el medio ambiente no se tendrá en cuenta debido a que una falla en cualquiera de los equipos no representa ningún peligro para este, el criterio de mantenibilidad que evalúa los tiempos de reparación se ha remplazado por el criterio de costos.

De esta manera los criterios estarán definidos así:

Seguridad

- NIVEL A: Falla en el equipo puede provocar graves lesiones, pérdida de vida del trabajador y/o afecta el medio ambiente de manera severa.
- NIVEL B: Falla en el equipo puede provocar lesiones moderadas que generan incapacidad temporal.
- NIVEL C: Falla en el equipo no genera lesiones en el trabajador ni afecta el medio ambiente

²⁴ CRESPO MÁRQUEZ, Adolfo. The maintenance management framework: models and methods for complex systems maintenance. [Libro]. Springer Science & Business Media, 2007. p. 139. [Consultado 30 de septiembre 2021]. Disponible:< <https://books.google.com.co/books?id=L-rA9yccgpEC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>>

Calidad

- NIVEL A: Falla en el equipo afecta la calidad del producto de manera considerable, generando problemas con el cliente.
- NIVEL B: Falla en el equipo afecta la calidad del producto de manera moderada, puede generar molestias en el cliente.
- NIVEL C: Falla en el equipo no afecta la calidad del producto

Tiempo de trabajo

- NIVEL A: Equipo usado de manera permanente durante cada uno de los turnos.
- NIVEL B: Equipo usado de manera intermitente.
- NIVEL C: Equipo usado esporádicamente

Impacto en la producción

- NIVEL A: Falla en el equipo disminuye en cierto porcentaje la producción o afecta una línea de producción.
- NIVEL B: Falla en el equipo afecta en cierto porcentaje producción pero se cuenta con unidades de remplazo.
- NIVEL C: Falla en el equipo no genera impacto en la producción

Frecuencia de fallas

- NIVEL A: Más de 60 reportes de fallas año.
- NIVEL B: Entre 30 y 60 reportes de fallas año.
- NIVEL C: Menos de 30 reportes de fallas año

Costos de mantenimiento

- NIVEL A: Más de 8000 dólares/año.
- NIVEL B: Entre 4000 y 8000 dólares/año.
- NIVEL C: Menos de 4000 dólares/año.

Los niveles A, B y C del criterio de frecuencia de falla se han seleccionado de acuerdo al menor y mayor número de fallas totales presentes en cada uno de los equipos que se registraron en la base de datos. De manera similar para los costos totales de mantenimiento de cada equipo se han basado en el costo de los repuestos registrados. El **Anexo F.** contiene el diagrama de decisión junto con la tabla de criterios así como el archivo donde se determina la criticidad de cada uno de los equipos.

7.6.2. Análisis de criticidad de componentes (semicuantitativo)

Para realizar el análisis de criticidad de los componentes de los equipos es necesario ser más específico en cuanto a la cantidad de fallas/año y el impacto operacional que representa la falla en la máquina, por lo anterior se toma la decisión de usar el método semicuantitativo expuesto por Parra y Crespo²⁵ y adecuándolo al área de figuración, modificando las condiciones de los criterios de frecuencia de fallas, impacto operacional, costos de mantenimiento y flexibilidad operacional.

Así, los criterios para el análisis de criticidad de componentes de equipos estarán definidos de la siguiente manera:

Para la frecuencia de fallas teniendo en cuenta que el tiempo de trabajo de la gran mayoría de las maquinas es de 24 horas al día se cambia las condiciones originales del criterio mostradas por Parra y Crespo. La cantidad de fallas de cada componente se toman de las tablas dinámicas construidas a partir de la base de datos (véase en **Anexo C.**)

Tabla 13 Criterio de frecuencia de fallas para análisis de componentes

FRECUENCIA DE FALLAS (FF)	
INDICE	CRITERIO
4	Mayor a 3 eventos al año
3	2 y 3 eventos al año
2	Entre 1 y 2 evento al año
1	1 o menos al eventos al año

Fuente: Basado en PARRA MÁRQUEZ, Carlos y CRESPO MÁRQUEZ, Adolfo. Técnicas de ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicadas en el proceso de gestión de activos. Nota técnica 5: Métodos de análisis de criticidad y jerarquización de activos. [Documento formato digital]. Ingeman, 2012, vol. 5. p. 5.

²⁵ PARRA y CRESPO, Op. cit., p. 5, 6.

Parra y Crespo presentan el criterio de impacto operacional basado en el porcentaje de pérdidas en la producción causadas por la presencia de la falla, esto es algo complicado de evaluar en figuración ya que la producción en esta área es muy variable y depende de factores como disponibilidad de materia prima y demanda de producto, adicionalmente no se tienen registros que representen dichos porcentajes de perdida por lo que este criterio se evaluara como el impacto que representa la falla en el funcionamiento del equipo y/o las consecuencias negativas que pueda generar en el producto final, la tabla 14 de este documento está basada en la tabla 5.7 de Parra y Crespo²⁶. La selección de los índices se hace basado en la información recopilada en el análisis de modos y efectos de falla AMEF que se encuentra en el **Anexo E**.

Tabla 14 Criterio de impacto operacional para análisis de componentes

IMPACTO OPERACIONAL (IO)	
INDICE	CRITERIO
10	Falla hace inoperable el equipo y/o cliente insatisfecho por producto defectuoso
9	
8	Falla causa mal funcionamiento de maquina y/o cliente se queja por producto defectuoso
7	
6	
5	Falla puede generar defecto minimo y crear minima insatisfaccion del cliente por producto defectuoso, pero no es grave
4	Equipo no opera correctamente
3	
2	Falla dificil de identifica por el cliente y/o efectos insignificantes para el proceso
1	Falla no es identificable por el cliente y/o no afecta eficiencia de proceso

Fuente: Basado en PARRA MÁRQUEZ, Carlos y CRESPO MÁRQUEZ, Adolfo. Técnicas de ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicadas en el proceso de gestión de activos. Nota técnica 5: Métodos de análisis de criticidad y jerarquización de activos. [Documento formato digital].Ingeman, 2012, vol. 5. p. 15.

²⁶ Ibid. p. 15.

El criterio de seguridad, higiene y medio ambiente se considera adecuado para el uso en el área de figuración y no contempla modificaciones del modelo original presentado por Parra y Crespo.

Tabla 15 Criterio de impacto en seguridad, higiene y medio ambiente para análisis de componentes

IMPACTO SEGURIDAD, HIGIENE Y AMBIENTE (SHA)	
INDICE	CRITERIO
8	Riesgo alto de pérdida de vida, daños graves a la salud del personal y/ó incidente ambiental mayor (catastrófico) que exceden los límites permitidos
7	
6	Riesgo medio de pérdida de vida, daños importantes a la salud, y/ó incidente ambiental de difícil restauración
5	
4	
3	Riesgo mínimo de pérdida de vida y afección a la salud (recuperable en el corto plazo) y/o incidente ambiental menor (controlable), derrames fáciles de contener y fugas repetitivas
2	
1	No existe ningún riesgo de pérdida de vida, ni afección a la salud, ni daños ambientales

Fuente: Basado en PARRA MÁRQUEZ, Carlos y CRESPO MÁRQUEZ, Adolfo. Técnicas de ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicadas en el proceso de gestión de activos. Nota técnica 5: Métodos de análisis de criticidad y jerarquización de activos. [Documento formato digital].Ingeman, 2012, vol. 5. p. 6.

El modelo semicuantitativo de Parra y Crespo contempla el límite de costos en 10.000 dólares que para el caso de estudio es muy alto, es así, que para dicho criterio se consideró que los costos de mantenimiento de un solo componente sea por remplazo o reparación son altos a partir de 1.000 dolares.

Tabla 16 Criterio de costos de mantenimiento para análisis de componentes

COSTOS DE MANTENIMIENTO (CM)	
INDICE	CRITERIO
1	Costos de reparación, materiales y mano de obra altos
2	Costos de reparación, materiales y mano de obra bajos

Fuente: Basado en PARRA MÁRQUEZ, Carlos y CRESPO MÁRQUEZ, Adolfo. Técnicas de ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicadas en el proceso de gestión de activos. Nota técnica 5: Métodos de análisis de criticidad y jerarquización de activos. [Documento formato digital].Ingeman, 2012, vol. 5. p. 5.

La flexibilidad operacional de los equipos de figuración es variable y no siempre se adecua a las condiciones que se muestran en el modelo de Parra y Crespo haciendo necesario cambiar algunos conectores y/o términos para el análisis.

Tabla 17 Criterio de flexibilidad operacional para análisis de componentes

FLEXIBILIDAD OPERACIONAL (FO)	
INDICE	CRITERIO
4	No se cuenta con unidades de reserva para cubrir la producción y/o tiempos de reparación y logística muy grandes
3	No se cuenta con unidades de reserva para cubrir la producción y/o tiempos de reparación y logística intermedios
2	Se logra cubrir de forma parcial o recuperar el impacto de producción por tiempos de reparación y logística intermedios o bajos
1	Se cuenta con unidades de reserva en línea, tiempos de reparación y/o logística pequeños

Fuente: Basado en PARRA MÁRQUEZ, Carlos y CRESPO MÁRQUEZ, Adolfo. Técnicas de ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicadas en el proceso de gestión de activos. Nota técnica 5: Métodos de análisis de criticidad y jerarquización de activos. [Documento formato digital].Ingeman, 2012, vol. 5. p. 5.

Consultando con los supervisores de producción las paradas mayores a 30 minutos de los equipos principales a causa de una falla pueden retrasar las metas diarias en figuración cuando se tiene buena demanda, es así, que para el criterio de flexibilidad operacional se considera los tiempos de reparación y logística de la siguiente manera:

- Tiempos pequeños serán los menores o iguales a 30 minutos
- Tiempos intermedios estarán comprendidos entre 31 a 59 minutos
- Tiempos grandes serán los mayores e iguales a 1 hora

En el **Anexo G**. se encuentran los tiempos de reparación de la mayoría de componentes según la experiencia de los técnicos de mantenimiento de figuración (tiempos de dobladoras no se tienen en cuenta por contar con unidades de reserva).

La matriz de criticidad del modelo de Parra y Crespo considera el rango de consecuencia 20-30 con índice de frecuencia 1 como no crítico, realizando el estudio se evidencio que se podía estar despreciando o pasando por alto un componente comprendido entre estos índices, que aunque no pudiera ser tan crítico si podría contemplar una criticidad media, de esta manera la matriz de criticidad usada para determinar la criticidad de los componentes de los equipos del área de figuración se muestra en la Figura 20.

Figura 20 Nueva matriz de criticidad para análisis de componentes

MATRIZ DE CRITICIDAD					
FRECUENCIA FALLAS (FF)	CONSECUENCIA (C)				
	10	20	30	40	50
4	MC	MC	C	C	C
3	MC	MC	MC	C	C
2	NC	NC	MC	C	C
1	NC	NC	MC	MC	C

Fuente: Basado en PARRA MÁRQUEZ, Carlos y CRESPO MÁRQUEZ, Adolfo. Técnicas de ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicadas en el proceso de gestión de activos. Nota técnica 5: Métodos de análisis de criticidad y jerarquización de activos. [Documento formato digital].Ingeman, 2012, vol. 5. p. 6.

El **Anexo H.** contiene los documentos con los índices de ponderación de los criterios para cada uno de los componentes de los equipos comprendidos en este estudio junto con el nivel de criticidad obtenido para cada uno de ellos.

8. PROPUESTA DE MEDIDAS PREVENTIVAS DE MANTENIMIENTO

Finalizada la recolección de datos, el análisis de modos y efectos de falla y la determinación de criticidad de equipos y componentes, la propuesta de las medidas preventivas es el resultado final del estudio y el cual pretende disminuir o mitigar las fallas y/o tiempos de parada del área de figuración.

La propuesta está dividida en tres secciones, acciones a realizar por el personal que opera las máquinas, acciones preventivas por parte del personal de mantenimiento y por último las buenas prácticas de mantenimiento.

8.1. ACCIONES A REALIZAR POR EL PERSONAL QUE OPERA LAS MAQUINAS

Este tipo de acciones están constituidas por una serie de tareas sencillas y cortas que pueden ser realizadas por el personal que opera los equipos ya que no requieren de un conocimiento especializado. Tareas como la revisión de dispositivos de maniobra y parada de emergencia de los equipos están asignadas en el plan de mantenimiento actual de la empresa a los técnicos eléctricos considerándose pertinente reasignarlas para que sean los operadores quienes las realicen ya que son actividades sencillas y solo son de control.

Esta sección de la propuesta de medidas preventivas se compone de actividades como:

- Control de estado de rodamiento de rodillos de estribadoras
- Recomendaciones para la correcta operación de equipos
- Limpieza de los equipos
- Revisión de dispositivos de maniobra
- Control de funcionamiento de dispositivos de parada de emergencia
- Revisión de herramientas de curvado de estribadoras y dobladoras

La descripción y el procedimiento correspondiente de cada una de las tareas mencionadas se encuentran en el numeral 1. del documento del **Anexo I.**

8.2. ACCIONES PREVENTIVAS POR PARTE DEL PERSONAL DE MANTENIMIENTO

Las medidas preventivas que se proponen para ser realizadas por el personal de mantenimiento eléctrico y mecánico son tareas que requieren de su conocimiento especializado y experimentado, estas van desde revisiones de los sistemas de los equipos hasta maniobras de limpieza, ajuste y regulación.

Las actividades propuestas además de estar basadas en el análisis de modos y efectos de falla solo tienen en cuenta los equipos priorizados en el análisis de criticidad así como sus componentes. La descripción y procedimientos de cada una de las siguientes medidas preventivas están en el numeral 2. del documento del **Anexo I.**

8.2.1. Medidas preventivas para estribadoras MEP FOCUS 12

- Limpieza de mecanismos de regulación de altura, posición y/o presión de rodillos
- Limpieza de grupo torreta
- Limpieza, ajuste y revisión de conexiones de dispositivos de sensado e interruptores de enclavamiento de seguridad.
- Revisión de fugas
- Limpieza, ajuste y revisión de conexiones eléctricas de electroválvulas
- Revisión de componentes de mecanismos de control de medida de estribos y ángulo de giro de mandril de curvado.
- Limpieza, ajuste y revisión de conexiones de comando general, dispositivos de maniobra y circuito de control
- Revisión de mandril de curvado
- Revisión y ajuste de conjunto guíahilos devanadoras

8.2.2. Medidas preventivas para líneas de rodillos automáticas

- Revisión de fugas y ajuste de líneas de aire
- Limpieza, ajuste y revisión de conexiones de tablero de control, dispositivos de control y conexiones eléctricas electroválvulas.
- Revisión de estructura y sistema mecánico de topes
- Revisión general de sistema de transmisión de rodillos

8.2.3. Medidas preventivas para línea de rodillos manual

- Control de estado de rodamientos
- Control de estado de rodillos, ejes y estructura

8.2.4. Medidas preventivas para dobladoras OMES y MEP

- Revisión, limpieza y ajuste de circuito de control y dispositivos de maniobra.
- Revisión de estado de componentes de electrofreno y ajuste de entrehierro
- Revisión de fugas
- Limpieza, ajuste y revisión de conexiones de dispositivos de sensado
- Revisión de ventilador de refrigeración de bobina electrofreno motor (MEP P 140 HPE)
- Revisión de estado de banco de trabajo

8.2.5. Medidas preventivas para polipastos ABUS

- Revisión de estado de componentes de electrofreno y ajuste de entrehierro
- Revisión de fugas
- Control de desgaste ruedas y rieles
- Verificación de estado de gancho y guaya
- Revisión, limpieza y ajuste de circuitos de control
- Mantenimiento general a controles inalámbricos
- Revisión de cableado exterior de carro y sistema de traslación de cable

8.2.6. Medidas preventivas para cizallas HILL ACME CANTON 22A Y 44A

- Limpieza, ajuste y revisión de conexiones de tablero de control, dispositivos de control y conexiones eléctricas electroválvulas.
- Mantenimiento general de electroválvulas y cilindros neumático
- Revisión de fugas y ajuste de líneas de aire
- Control de desgaste cuchillas
- Revisión de sistema de frenado
- Revisión y ajuste de guarda de protección
- Control de desgaste de correas
- Revisión y ajuste de mecanismo pisón

8.3. BUENAS PRACTICA DE MANTENIMIENTO

La implementación de planes de mantenimiento para la conservación de equipos no es eficiente si no se cumple con realizar buenos procedimientos, estos permiten aprovechar al máximo la vida útil de los componentes que se remplazan.

En el área de figuración se evidencio la falta de buenas prácticas de mantenimiento para casos como el montaje y desmontaje de rodamientos, la alineación de poleas, la tensión optima de correas y la correcta protección de los repuestos en su almacenamiento.

El numeral 3. del documento del **Anexo I.** describe y sugiere procedimientos para la correcta instalación de algunos de los componentes de equipos de figuración.

8.4. FORMATOS SUGERIDOS

Para llevar a cabo el desarrollo de los planes de mantenimiento es muy importante que las empresas cuenten con diferentes formatos donde se puedan llevar el control y registro de las actividades y permitan realizar una buena gestión. Grupo Siderúrgico Reyna cuenta con varios formatos como ordenes de trabajo, rutas de mantenimiento, reportes de emergentes, reportes de turno, entre otros, que son generados por el software de mantenimiento INFOMANTE. Se han diseñado algunos formatos como sugerencia para complementar el manejo y gestión eficiente del mantenimiento, que a criterio se considera que hacen falta en la empresa.

8.4.1. Formato de control de funcionamiento de dispositivos de emergencia

Este formato se propone con la finalidad de llevar el control del funcionamiento de los dispositivos de parada de emergencia y seguridad de las maquinas, esta actividad la viene realizando el personal encargado de la manutención de los equipos por medio de las rutas de mantenimiento generadas semanalmente. Debido a que se ha propuesto que sea el personal operativo quien realice dicha revisión se ha diseñado este formato que deberá ser manejado por los supervisores de producción quienes coordinaran con los operarios el registro diario para cada equipo. El documento Excel "FORMATO DISPOSITIVOS DE EMERGENCIA" del **Anexo J.** contiene el formato sugerido para llevar el control del funcionamiento de los dispositivos de emergencia y seguridad de los equipos del área de figuración.

8.4.2. Formato de solicitud de repuestos

El proceso de gestión de repuestos en general para toda la empresa empieza con la solicitud que hacen los técnicos y supervisores de mantenimiento de cada área, esta se hace por escrito y es enviada a los jefes de mantenimiento eléctrico y mecánico, para realizar dicha solicitud no existe un formato predeterminado donde se pueda especificar las características de los componentes, esto da lugar a errores en referencias que se ven representadas en pérdidas de dinero y tiempo. El documento Excel “FORMATO SOLICITUD REPUESTOS” del **Anexo J.** contiene el formato sugerido para pedir los repuestos necesarios para el taller de mantenimiento del área de figuración.

8.4.3. Formato de retiro de repuestos

Para llevar un control de los repuestos que son retirados del stock del taller de mantenimiento es ideal tener un formato que permita registrar la salida de cada uno de estos. El documento Excel “FORMATO RETIRO REPUESTOS” del **Anexo J.** contiene el formato que permitirá registrar el retiro de repuestos del taller de mantenimiento, es de aclarar que el formato no debe usarse para registrar consumibles como lubricantes, empaquetaduras, terminales, cable, cinta aislante, mangueras o piezas como tornillos, tuercas, arandelas, abrazaderas, etc.

8.4.4. Formato de análisis de modos y efectos de falla

Evidenciando las cualidades y beneficios que trae el análisis de modos y efectos de falla se deja a disposición de la empresa el formato AMEF donde se puede registrar la información de cualquiera de los equipos que pertenezcan a esta, en el **Anexo J.** se encuentra el documento Excel “FORMATO AMEF”.

9. CONCLUSIONES

- La organización del registro de fallas que clasifica equipos, sistemas, componentes y elementos propuesta para la creación de la base de datos demostró ser un sistema rápido y eficiente que permite al área de mantenimiento de la empresa acceder a la información de equipos y componentes específicos para su seguimiento, además de proveer datos importantes como frecuencias de falla y sumatorias de repuestos usados mensualmente en figuración.
- La metodología AMEF desarrollada permite a quienes están encargados de programar las actividades de manutención de los equipos de figuración, conocer más a fondo el funcionamiento de cada uno de estos, sus fallas, sus posibles causas y en especial sus consecuencias para verificar de manera correcta la eficiencia de las medidas preventivas adoptadas.
- La jerarquización de los equipos de figuración por medio del análisis de criticidad proporciona información valiosa para la empresa sobre cómo distribuir los recursos tanto técnicos como económicos de manera más equitativa.
- Asignar tareas de control y acciones preventivas sencillas al personal que opera las maquinas optimiza el plan de mantenimiento actual que maneja la empresa, permitiendo implementar las nuevas medidas propuestas sin sobrecargar al personal encargado de la manutención de los equipos de figuración.
- El formato de recolección de información de fallas, ajustes, mantenimientos y novedades permitió organizar la información disponible en los reportes de turno de tal manera que facilito la realización del análisis de modos y efectos de falla, que complementado con la información indagada de los manuales de los equipos y el personal de mantenimiento, fue la base para proponer las acciones preventivas para disminuir o mitigar las fallas y/o tiempos de parada en figuración.
- Con el reconocimiento e identificación de equipos, componentes y sus respectivas funciones en el proceso de figuración, se determinaron los criterios y condiciones adecuadas al área con los que se consiguió realizar el análisis de criticidad de cada uno y jerarquizarlos de acuerdo a su nivel crítico.
- Se propusieron acciones preventivas que disminuyen o mitigan las fallas y/o tiempos de parada del área de figuración basadas en la información recolectada de fallas presentadas por los equipos del mes de noviembre de

2020 al mes de agosto de 2021 junto con algunos formatos que complementan la gestión del mantenimiento del área.

10.RECOMENDACIONES

- Concientizar a los técnicos y supervisores eléctricos y mecánicos encargados de la manutención de los equipos de la importancia de diligenciar cada uno de los formatos actuales y propuestos para el control y gestión de las medidas preventivas de los planes de mantenimiento.
- Velar por el correcto manejo de la información, para que esta sea completa y no haya pérdida de datos en cuanto a las fallas ya que se pudo evidenciar un buen número de reportes de turno desaparecidos o faltantes.
- Continuar con el registro de información del área de figuración en la base de datos diseñada, esto para obtener valores de frecuencia de falla más acertados.
- Incorporar a la gestión y documentación del área de mantenimiento los reportes de costos mensuales de cada uno de los repuestos adquiridos por el departamento de compras de la empresa para evaluar la efectividad de los planes de mantenimiento en el ámbito económico.
- Suministrar las herramientas y equipos necesarios a los técnicos mecánicos y eléctricos del área de figuración que permitan a estos realizar buenas prácticas de mantenimiento para así poder sacar el máximo provecho a cada uno de los repuestos o las medidas preventivas que se desarrollen.
- Priorizar en el stock de repuestos los componentes de los equipos que no son muy comerciales o deben ser importados.

11. BIBLIOGRAFÍA

SIDENAL. SIDENAL - Siderúrgica Nacional - Video Corporativo. Sogamoso. (29 de Septiembre de 2011). 10:07 min. [Consultado: 8 de mayo de 2021]. Disponible en: <<https://www.youtube.com/watch?v=9blr7HPI3EM>>

REAL ACADEMIA ESPAÑOLA. Diccionario de la lengua española. [En línea]. Versión actualización 2020. Disponible en: <<https://dle.rae.es/mantenimiento>>

GARCÍA GARRIDO, Santiago. Organización y Gestión Integral de Mantenimiento. [Libro formato digital]. Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos, 2010.

PORTAFOLIO. Industria del acero reafirma su crecimiento para el 2020. En: Portafolio. Bogotá D.C., Marzo 11 de 2020. [Consultado: 4 de abril de 2021]. Disponible en: <<https://www.portafolio.co/economia/industria-del-acero-reafirma-su-crecimiento-para-el-2020-538951>>

GARCÍA GARRIDO, Santiago. Organización y Gestión del Mantenimiento de Instalaciones. [Documento formato digital]. España: Ediciones Renovetec.

REY SACRISTÁN, Francisco. Manual del Mantenimiento Integral en la Empresa. [Libro formato digital]. España: FC Editorial, 2001.

PÉREZ RONDÓN, Félix. Conceptos Generales en la Gestión del Mantenimiento Industrial. [Documento formato digital]. Bucaramanga, Colombia: Ediciones USTA, Universidad Santo Tomas 2021.

OLARTE, William; BOTERO, Marcela; CAÑÓN, Benhur. Técnicas de mantenimiento predictivo utilizadas en la industria. [Documento formato digital]. Pereira, Colombia: *Scientia et technica*, 2010, vol. 2, no 45. Disponible en: <<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4546591>>

ERBESSD, Thierry. 10 Principios de análisis de vibraciones que debes conocer. [En línea]. [Consultado 23 de septiembre de 2021]. Disponible en: <<https://www.erbessd-instruments.com/es/articulos/analisis-de-vibraciones/>>

PREDITEC. Análisis de aceites. [En línea]. [Consultado 23 de septiembre de 2021]. Disponible en: <<http://www.preditec.com/mantenimiento-predictivo/analisis-de-lubricantes/#>>

HERNÁNDEZ, Pedro. Análisis de aceite: todo lo que usted necesita saber sobre el tema. [En línea]. [Consultado 23 de septiembre de 2021]. Disponible en: <<https://www.alsglobal.com/%2Fes->

co%2Fnews%2Farticulos%2F2018%2F07%2Fanalisis-de-aceite-todo-lo-que-usted-necesita-saber-sobre-el-tema>

RCM3. Qué es RCM. [En línea]. [Consultado 25 de septiembre de 2021]. Disponible en: < <http://rcm3.org/que-es-rcm>>

REYES AGUILAR, Primitivo. Análisis del modo y efecto de falla de proceso (PFMEA). [Documento formato digital]. 2007. Disponible en: < <https://es.scribd.com/document/308612935/Analisis-Del-Modo-y-Efecto-de-Falla>>

SEAT, S.A. Análisis modal de fallos y efectos. AMFE. NTP 679. [En línea]. España: 2004. [Consultado 26 de septiembre de 2021]. Disponible en: < https://www.insst.es/documents/94886/326775/ntp_679.pdf/3f2a81e3-531c-4daa-bfc2-2abd3aaba4ba>

PARRA MÁRQUEZ, Carlos y CRESPO MÁRQUEZ, Adolfo. Técnicas de ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicadas en el proceso de gestión de activos. Nota técnica 5: Métodos de análisis de criticidad y jerarquización de activos. [Documento formato digital]. Ingeman, 2012, vol. 5.

CRESPO MÁRQUEZ, Adolfo. The maintenance management framework: models and methods for complex systems maintenance. [Libro]. Springer Science & Business Media, 2007. [Consultado 30 de septiembre 2021]. Disponible:< <https://books.google.com.co/books?id=L-rA9yccgpEC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>>

MEP GROUP. Manual de uso y mantenimiento estribadora FOCUS 12.

MEP GROUP. Manual de uso y mantenimiento estribadora FORMAT 12.

MEP GROUP. Manual de uso y mantenimiento dobladora P 140 HPE.

MEP GROUP. Manual de uso y mantenimiento dobladora P 140 SE.

SCHNELL GROUP. Manual de uso y mantenimiento dobladora P/45 PRO 2C.

OMES. Manual de instrucciones dobladora automática P 140 E.

GENSCO EQUIPEMENT INC. Manual cizallas serie CANTON.

ABUS. Manual de instrucciones para polipasto eléctrico de cable.