



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudio de Postgrado
Maestría en Artes en Gestión Industrial

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA PROPUESTA DE EVALUACIÓN DEL
MANTENIMIENTO INDUSTRIAL Y ANÁLISIS DE FALLAS PARA TRATAR LA DISMINUCIÓN
EN LA DISPONIBILIDAD DE ACTIVOS CRÍTICOS PARA EL PROCESO PRODUCTIVO**

Ing. Ricardo Esaú Cardona González

Asesorado por la Mtra. Inga. Ana Lucía Martínez Arriola

Guatemala, enero de 2024

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA PROPUESTA DE EVALUACIÓN DEL
MANTENIMIENTO INDUSTRIAL Y ANÁLISIS DE FALLAS PARA TRATAR LA DISMINUCIÓN
EN LA DISPONIBILIDAD DE ACTIVOS CRÍTICOS PARA EL PROCESO PRODUCTIVO.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ING. RICARDO ESAÚ CARDONA GONZÁLEZ
ASESORADO POR LA MTRA. ING. ANA LUCÍA MARTÍNEZ ARRIOLA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

MAESTRO EN ARTES EN GESTIÓN INDUSTRIAL

GUATEMALA, ENERO DE 2024

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO a.i.	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Ing. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Ing. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN DE
DEFENSA DE TRABAJO DE GRADUACIÓN**

DECANO a.i.	Ing. José Francisco Gómez Rivera
EXAMINADORA	Mtra. Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Carlos Humberto Aroche Sandoval
EXAMINADORA	Mtra. Inga. Claudia Josefina Sierra Belches
SECRETARIO	Mtro. Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA PROPUESTA DE EVALUACIÓN DEL
MANTENIMIENTO INDUSTRIAL Y ANÁLISIS DE FALLAS PARA TRATAR LA DISMINUCIÓN
EN LA DISPONIBILIDAD DE ACTIVOS CRÍTICOS PARA EL PROCESO PRODUCTIVO**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 26 de octubre de 2022.



Ing. Ricardo Esaú Cardona González

LNG.DECANATO.OI.038.2024

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Estudios de Posgrado, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA PROPUESTA DE EVALUACIÓN DEL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL Y ANÁLISIS DE FALLAS PARA TRATAR LA DISMINUCIÓN EN LA DISPONIBILIDAD DE ACTIVOS CRÍTICOS PARA EL PROCESO PRODUCTIVO**, presentado por: **Ing. Ricardo Esaú Cardona González**, que pertenece al programa de Maestría en artes en Gestión industrial después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. José Francisco Gómez Rivera

Decano a.i.

Guatemala, enero de 2024

JFGR/gaoc



Guatemala, enero de 2024

LNG.EEP.OI.038.2024

En mi calidad de Directora de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del asesor, verificar la aprobación del Coordinador de Maestría y la aprobación del Área de Lingüística al trabajo de graduación titulado:

**“DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA PROPUESTA DE
EVALUACIÓN DEL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL Y ANÁLISIS DE
FALLAS PARA TRATAR LA DISMINUCIÓN EN LA DISPONIBILIDAD DE
ACTIVOS CRÍTICOS PARA EL PROCESO PRODUCTIVO”**

presentado por **Ing. Ricardo Esaú Cardona González** correspondiente al programa de **Maestría en artes en Gestión industrial** ; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”



Mtra. Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
Directora
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería



Guatemala, 16 de octubre de 2023

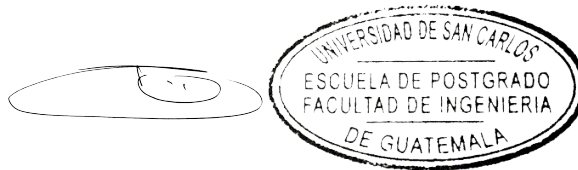
M.A. Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
Directora
Escuela de Estudios de Postgrado
Presente

Estimada M.A. Inga. Cordova Estrada

Por este medio informo a usted, que he revisado y aprobado el **INFORME FINAL y ARTÍCULO CIENTÍFICO** titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA PROPUESTA DE EVALUACIÓN DEL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL Y ANÁLISIS DE FALLAS PARA TRATAR LA DISMINUCIÓN EN LA DISPONIBILIDAD DE ACTIVOS CRÍTICOS PARA EL PROCESO PRODUCTIVO** del estudiante **Ricardo Esaú Cardona González** quien se identifica con número de carné **200915155** del programa de Maestría En Gestion Industrial.

Con base en la evaluación realizada hago constar que he evaluado la calidad, validez, pertinencia y coherencia de los resultados obtenidos en el trabajo presentado y según lo establecido en el **Normativo de Tesis y Trabajos de Graduación aprobado por Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería Punto Sexto inciso 6.10 del Acta 04-2014 de sesión celebrada el 04 de febrero de 2014**. Por lo cual el trabajo evaluado cuenta con mi aprobación.

Agradeciendo su atención y deseándole éxitos en sus actividades profesionales me suscribo.



Msc. Ing. Hugo Humberto Rivera Perez
Coordinador
Maestría En Gestion Industrial
Escuela de Estudios de Postgrado

Oficina Virtual



Guatemala, 16 de octubre de 2023

M.A. Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
Directora
Escuela de Estudios de Postgrados
Presente

Estimada M.A. Inga. Cordova Estrada

Por este medio informo a usted, que he revisado y aprobado el Trabajo de Graduación y el Artículo Científico: "**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA PROPUESTA DE EVALUACIÓN DEL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL Y ANÁLISIS DE FALLAS PARA TRATAR LA DISMINUCIÓN EN LA DISPONIBILIDAD DE ACTIVOS CRÍTICOS PARA EL PROCESO PRODUCTIVO**" de el/la estudiante **Ricardo Esaú Cardona González** del programa de **Maestria En Gestion Industrial** identificado(a) con número de carné 200915155.

Agradeciendo su atención y deseándole éxitos en sus actividades profesionales me suscribo.



Inga. Ana Lucía Martínez Arriola
Maestra en Gestión de Mercados
Eléctricos Regulados
Col. 15072

Mtro. Ing. Ana Lucía Martínez Arriola
Colegiado No. 15072
Asesor de Tesis

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por ser el centro de mi vida, mi ayudador y permitirme alcanzar una meta más.
- Mi esposa** Elisa Ramírez Hunter, por creer en mí, ser mi ayuda idónea, mi amiga e impulsarme a lograr mis metas.
- Mis padres** Por su dedicación constante, amor incondicional y apoyo en este proceso. Gracias eternamente
- Mis hermanos** Rudy y Brenda Cardona, por sus muestras de afecto, enseñanzas y consejos que me han acompañado a lo largo de nuestra vida.
- Mis amigos** Carlos González, Oscar Tercero, David de la Cruz y Jorge Cuellar, por acompañarme durante este proceso con todo el apoyo y amistad sincera.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser el alma <i>mater</i> que me permitió nutrirme de conocimientos.
Facultad de Ingeniería	Por proporcionarme los conocimientos que me han permitido realizar este trabajo de graduación.
Mi asesora	Inga. Ana Lucía Martínez por guiarme y orientarme durante el trabajo de graduación.
Familia y amigos en general	Por su apoyo y cariño incondicional.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XI
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	XIII
OBJETIVOS.....	XVII
RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO	XIX
INTRODUCCIÓN	XXIII
1. MARCO REFERENCIAL.....	1
2. MARCO TEÓRICO.....	9
2.1. Mantenimiento de activos	9
2.2. Aspectos generales del mantenimiento	9
2.2.1. Objetivo del mantenimiento	11
2.2.2. Problema en mantenimiento	11
2.2.3. Falla en mantenimiento	12
2.2.4. Causa en mantenimiento.....	13
2.2.5. Acción en mantenimiento	13
2.3. Tipos de mantenimiento	13
2.3.1. Mantenimiento correctivo.....	14
2.3.1.1. Ventajas del mantenimiento correctivo	14
2.3.1.2. Desventajas del mantenimiento correctivo	15

2.3.2.	Mantenimiento preventivo	16
2.3.2.1.	Mantenimiento periódico	18
2.3.2.2.	Mantenimiento programado.....	18
2.3.2.3.	Mantenimiento de mejoras	18
2.3.2.4.	Mantenimiento autónomo	19
2.3.2.5.	Mantenimiento rutinario	19
2.3.3.	Mantenimiento predictivo.....	20
2.4.	Criticidad en activos fijos.....	20
2.4.1.	Riesgo en mantenimiento.....	21
2.4.2.	Análisis de criticidad	21
2.4.3.	Confiabilidad.....	22
2.4.4.	Disponibilidad	23
2.4.5.	Fiabilidad	23
2.4.6.	Mantenibilidad	23
2.5.	Técnicas de análisis	24
2.5.1.	Métodos de análisis de criticidad.....	24
2.5.1.1.	Método de Ciliberti	24
2.5.1.2.	Norsok standard Z-008.....	29
2.5.2.	Análisis de riesgo	31
2.5.2.1.	Técnicas cualitativas	31
2.5.2.2.	Técnicas semicuantitativas.....	31
2.5.2.3.	Técnicas cuantitativas	32
2.5.3.	Análisis de fallas.....	32
2.5.3.1.	Determinación de las fallas	33
2.5.3.2.	Determinar las causas por falla	33
2.5.3.3.	Medidas de detección por falla.....	34
2.5.3.4.	Determinar prioridad por falla	34
2.5.4.	Técnica de los cinco porqués	35
2.5.5.	Diagrama de flujo	35

2.5.6.	Diagrama de Pareto.....	35
2.5.7.	Diagrama de causa y efecto	36
3.	DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.....	39
3.1.	Características del estudio	39
3.2.	Unidad de análisis	40
3.3.	Fases del estudio	41
3.3.1.	Fase 1. Recopilación y gestión de la información... ..	41
3.3.2.	Fase 2. Desarrollo de la investigación	41
3.3.3.	Fase 3. Resultados y análisis de resultados.....	43
3.4.	Técnicas de análisis	43
4.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	45
4.1.	Objetivo 1: identificar las principales fallas que afectan los tiempos de funcionamiento de los activos críticos para el proceso productivo a través del análisis de fallas.....	45
4.2.	Objetivo 2: establecer el impacto que tienen los paros no programados de activos en la gestión de mantenimiento respecto al tiempo de intervención y tiempo promedio de ocurrencia.....	62
4.3.	Objetivo 3: estimar el impacto económico que tiene la disminución de disponibilidad de los activos críticos en la empresa respecto a el costo de mano de obra y materiales utilizados en corregir las fallas.....	70
5.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	77
5.1.	Fallas principales que afectan los tiempos de funcionamiento de los activos críticos para el proceso productivo a través del análisis de fallas.	77

5.2.	Impacto de los paros no programados de activos críticos en la gestión de mantenimiento respecto al tiempo de intervención y tiempo promedio de ocurrencia.....	78
5.3.	Impacto económico que tiene la disminución de disponibilidad de los activos críticos en la empresa respecto a el costo de mano de obra y materiales utilizados en corregir las fallas.	79
CONCLUSIONES.....		81
RECOMENDACIONES		83
REFERENCIAS.....		85
APÉNDICES.....		91

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

Figura 1.	Consecuencias de procesos categorías	25
Figura 2.	Probabilidades del proceso categorías	26
Figura 3.	Categorías de las consecuencias	27
Figura 4.	Categorías de las probabilidades	27
Figura 5.	Matrices de riesgo Ciliberti.....	28
Figura 6.	Categorías de consecuencia crítica	29
Figura 7.	Diagrama de proceso de riesgos	30
Figura 8.	Diagrama de Ishikawa o de causa y efecto	37
Figura 9.	Gráfico de OT generadas por mes	49
Figura 10.	Gráfico de OT de distribución por tipo	51
Figura 11.	Diagrama de causa y efecto de fallas.....	61
Figura 12.	Flujograma de aprobación de órdenes de trabajo	62
Figura 13.	Tiempo de paros por mes para falla XXXX0108.....	66
Figura 14.	Cantidad de OT vs horas de paro por falla	68
Figura 15.	Gráfico de OT por mes de OT correctivas	72

TABLAS

Tabla 1.	VARIABLES DE ESTUDIO	XX
Tabla 2.	Sistema de Jerarquización de activos planta piloto	46
Tabla 3.	Fallas más frecuentes en los activos críticos	52
Tabla 4.	Equipos críticos por falla XXXX0142	54
Tabla 5.	Equipos críticos por falla XXXX0108	55
Tabla 6.	Equipos críticos por falla XXXX0102	56
Tabla 7.	Equipos críticos por falla XXXX0132	57
Tabla 8.	Equipos críticos por falla XXXX0165	57
Tabla 9.	Equipos críticos por falla XXXX0157	58
Tabla 10.	Equipos críticos por falla XXXX0172	59
Tabla 11.	Cantidad de OT por estado de OT	63
Tabla 12.	Muestra de paros por falla XXXX0142	64
Tabla 13.	Horas de paro por falla XXXX0108	67
Tabla 14.	Paros y tiempo medio entre fallas	69
Tabla 15.	Costos de OT tipo correctivas por mes	70
Tabla 16.	Costos totales por fallas en activos críticos	73
Tabla 17.	Costos totales de M.O. y piezas por mes	75

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
\$	Dólar
f	Frecuencia
>	Mayor que
\bar{X}	Media muestral
<	Menor que
%	Porcentaje
rpm	Revoluciones por minuto
Σ	Sumatoria
n	Tamaño de la muestra
t	Tiempo

GLOSARIO

Activo crítico	Es el equipo o recurso que es esencial para el funcionamiento continuo de sus operaciones.
Aerogenerador	Es una máquina que convierte la energía cinética del viento en energía eléctrica a través de un proceso de transformación.
Cilindro de pitch	Es el sistema que regula la potencia mediante la posición de las palas del rotor respecto al viento en un aerogenerador.
Costos	Desembolso económico de una empresa para llevar a cabo actividades comerciales o productivas.
Disponibilidad	Capacidad de un activo para estar operativo y listo para funcionar cuando se necesita de manera óptima.
Eficiencia	Es la capacidad de lograr un resultado utilizando la menor cantidad de recursos de manera óptima.
Falla	Se refiere a la incapacidad que tiene un activo para desempeñar su función de manera adecuada.

Junta rotativa	Dispositivo que permite la transferencia de fluidos entre partes fijas rotativas facilitando el movimiento sin pérdida de sellado.
Mantenimiento correctivo	Se refiere a la intervención o reparación de un equipo después que se ha producido una falla o problema.
Multiplicadora	Es un elemento del aerogenerador que aumenta la velocidad de rotación del rotor de las palas a una velocidad necesaria para generar electricidad de manera eficiente.
Orden de trabajo	En mantenimiento, es un documento que detalla las tareas específicas a realizar, facilitando la planificación, ejecución y retroalimentación de las actividades de mantenimiento.
Planificación	Proceso de anticipar y organizar actividades para asegurar el funcionamiento eficiente y confiable de los equipos.
Reparación	Proceso de corrección o restauración de un equipo que ha sufrido un problema o falla, implica la identificación y corrección a su funcionamiento original.
Segmentación	Dividir un conjunto de datos en grupos más pequeños con el objetivo de analizarlos de manera más efectiva.

RESUMEN

El propósito de este trabajo de investigación fue demostrar que, a través de un correcto análisis de las órdenes de trabajo, se puede determinar cómo los equipos fallan y el impacto que la resolución de estas fallas tiene en términos económicos, para volver las medidas correctivas en preventivas aumentando la disponibilidad de los equipos críticos, disminuyendo la cantidad de fallas de los equipos y reduciendo el costo de mantenimiento, aumentando la planificación de mantenimiento.

El objetivo general de la investigación es proponer un modelo de evaluación de mantenimiento que permita aumentar el tiempo de disponibilidad los activos críticos para el proceso productivo, para lo cual se identificaron las fallas frecuentes que afectan a dichos activos, por lo tanto, su disponibilidad y el impacto económico que tiene no gestionar correctamente la planificación.

El problema que la investigación aborda es la disminución del tiempo disponible de los activos críticos por paros no programados causados por fallas frecuentes y cómo esto aumenta los costos de mantenimiento, de esto, surge la necesidad en convertir en la medida de los posible las fallas conocidas en acciones preventivas a través de las inspecciones y planes integrales de mantenimiento.

La investigación se desarrolló bajo un enfoque de tipo mixto, ya que se evaluaron criterios cualitativos, tales como las fallas y variables cuantitativas, como su frecuencia y los costos. La investigación tiene un diseño no experimental y un alcance correlacional, ya que en este se analizaron variables que se

interrelacionan como la falla y su causa, la probabilidad de ocurrencia y el tiempo que transcurre entre cada una de ellas.

Se obtuvieron las fallas más frecuentes que afectan los activos críticos por medio del análisis de órdenes de trabajo en un periodo igual a un año, se priorizaron los tipos de mantenimiento correctivo para evaluar la cantidad de fallas reportadas en el periodo, de estas fallas, se tomaron las más frecuentes y se presentaron mediante tablas y gráficas. Se determinó para que equipos se presentaban estas fallas, obteniendo los equipos afectados por estas condiciones, se muestran los resultados obtenidos mediante tablas resumen y se procedió a determinar los tiempos de paro de máquina por medio del análisis de fallas, tiempo de reparación y frecuencia de ocurrencia, así como los costos asociados de materiales y mano de obra invertidos para solventar los problemas ocasionados por las fallas presentándolos por medio de tablas resumen.

En conclusión, se identificaron las fallas principales que afectan a los activos críticos de la organización analizada a través de las órdenes de trabajo, obteniendo como principales las fugas, desgaste, lubricación y fallas eléctricas. El impacto de estas fallas principales sobre el mantenimiento en términos económicos se identificó que representa un 37 % sobre los costos totales anuales de mantenimiento, tomando en cuenta mano de obra y materiales.

De acuerdo con los resultados obtenidos, se recomienda implementar un sistema de gestión de códigos de falla más precisos, que brinden información precisa y relevante para identificar el origen de las fallas, desarrollar planes de inspección periódicos para detección de estas fallas antes de que sucedan y reforzar la planificación avanzada de mantenimiento a través de *software* de gestión que permita obtener métricas precisas de la condición de los activos en tiempo real.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

- Contexto general

La empresa de interés es una empresa dedicada a brindar servicios de asistencia avanzada, soporte y capacitaciones para la gestión de activos empresariales, estos activos son delimitados a los activos fijos de la empresa en su clasificación de maquinaria y equipo, con el objetivo de ayudar a las empresas a llevar su mantenimiento a un mantenimiento de clase mundial, optimizando sus procesos y reduciendo costos.

La empresa brinda estos servicios de soporte y asistencia en Centro América y Caribe a todas las empresas que lo soliciten. De todos los servicios que la misma brinda se elige el servicio de evaluación de mantenimiento industrial considerando que el mismo se ha llevado a cabo por más de diez años y que se brinda a las empresas que lo soliciten sin importar su actividad productiva o giro de negocio.

Así mismo, en la realización de esta evaluación se observa que la mayoría de las empresas presentan problemas respecto a mantener sus activos críticos en funcionamiento óptimo y presentan disminución en la disponibilidad de estos. Por consiguiente, esto se traduce en aumentos del costo de mantenimiento, costo de operación e impacto sobre la calidad. En la evaluación actualmente se realizan recomendaciones generales, pero no existe una guía específica para tratar el problema.

Por esta razón se realizó una propuesta para resolver el problema basado en investigación de las causas y análisis de códigos de fallas de los activos para brindar dicha guía.

- Descripción del problema

Para dimensionar el problema es necesario comprender la importancia de los activos fijos en su clasificación de maquinaria y equipos.

Es sabido que, desde la revolución industrial, las máquinas han sido el motor que impulsa la industria y su progreso ha sido proporcional a la innovación en la tecnología. Las máquinas industriales, desde la más sencilla a la más compleja tienen como objetivo ayudar al hombre a optimizar los procesos industriales, reducir errores, aumentar productividad, reducir esfuerzo, extender la presencia del producto, aumentar su consumo, satisfacer necesidades y procurar el bienestar industrial.

De este modo, es necesario señalar que dentro de la maquinaria que está directamente relacionada a la producción existe maquinaria que es esencial para los procesos productivos y ha sido materia de estudio tanto para el mantenimiento industrial como para aumentar la disponibilidad de estos activos o máquinas críticas en los procesos productivos.

En las evaluaciones del mantenimiento industrial se ha visto como problema frecuente para las empresas la disminución de la disponibilidad en los activos críticos industriales. Esta disminución de los equipos o activos críticos se traduce como una disminución en la productividad, aumento de los costos de mantenimiento, aumento de tiempo ocioso de los equipos, entre otros. Se considera que este mismo comportamiento puede tener distintas causas y en

algunos casos no tener una definición de criticidad en los activos se puede considerar como la causa principal.

Otras causas considerables podrían ser ausencia o mal manejo de mantenimiento preventivo y correctivo, no realizar mantenimiento predictivo, problemas en la ejecución de los mantenimientos, mal manejo de inventarios para los repuestos por utilizar en el mantenimiento, entre otros.

Se realizó un análisis estadístico para evaluar las fallas generales más comunes de los activos, se evaluó su frecuencia, magnitud, posición, se investigaron los tipos de fallas más comunes, tiempos medio entre fallas y confiabilidad de los activos críticos, todo ello con el propósito de tener bases para plantear una solución.

- Formulación del problema

A continuación, se presenta la pregunta central, así como las preguntas auxiliares.

- Pregunta central

¿Cómo aumentar la disponibilidad y asegurar el funcionamiento de los activos críticos para el proceso productivo de una empresa?

- Preguntas auxiliares
 - ¿Cuáles son las principales causas que afectan los tiempos de funcionamiento de los activos críticos para el proceso productivo?

- ¿Cómo impactan los tiempos de funcionamiento los paros no programados de activos en la gestión de mantenimiento?
 - ¿Qué repercusiones económicas tiene la disminución de disponibilidad de los activos críticos?
- Delimitación del problema

El proyecto de investigación se centró en los activos. De los mismos se tomaron en cuenta los activos fijos en su clasificación de maquinaria y equipo, con el propósito de orientar la investigación a aquellos que eran activos críticos para los procesos productivos.

Se tomaron datos de una empresa piloto, dedicada a la generación de energía eólica, para tomar aspectos generales de los activos críticos tales como la importancia, incidencia en producción, afectación a la calidad, entre otros, para que la propuesta pudiera ser utilizada en cualquier organización que requiriera evaluar la disponibilidad de sus activos críticos.

Así mismo, este trabajo de investigación tomó los estándares de manejo de activos propuestos por la norma ISO 55000, en los que también se tomó como supuesto que la empresa tenía como fin aumentar la disponibilidad de sus activos críticos para la producción.

La empresa para la cual se realizó la evaluación ya contaba con un sistema físico o computarizado de registros de sus mantenimientos y los análisis se realizaron basados en el historial de mantenimientos realizados a los activos críticos de la organización.

OBJETIVOS

General

Proponer un modelo de evaluación de mantenimiento industrial para aumentar la disponibilidad de activos críticos para el proceso productivo a través del análisis de las órdenes de trabajo generadas por la organización.

Específicos

1. Identificar las principales fallas que afectan los tiempos de funcionamiento de los activos críticos para el proceso productivo a través del análisis de fallas.
2. Establecer el impacto que tienen los paros no programados de activos en la gestión de mantenimiento respecto al tiempo de intervención y tiempo promedio de ocurrencia.
3. Estimar el impacto económico que tiene la disminución de disponibilidad de los activos críticos en la empresa respecto a el costo de mano de obra y materiales utilizados en corregir las fallas.

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

Para el desarrollo de la investigación se definieron características principales del análisis, se identificaron las variables clave de interés y se describieron las etapas que se pusieron en práctica con el fin de alcanzar los objetivos establecidos, así como el enfoque de la investigación las cuales se detalla a continuación:

- Características del estudio

El estudio de investigación que se desarrolló fue de tipo mixto, ya que se evaluaron criterios cualitativos y variables cuantitativas. Dentro de los criterios cualitativos, se tomó la criticidad, los tipos de mantenimiento, entre otros aspectos. En cuanto a las variables cuantitativas, se evaluó la probabilidad de ocurrencia de estos eventos, la cantidad de activos críticos, el tiempo medio entre las fallas, la disponibilidad de los activos, la cantidad de órdenes de trabajo analizadas, los costos de mano de obra y materiales, entre otros parámetros.

La investigación tiene un alcance correlacional, ya que en este se analizaron variables que se interrelacionan como la falla y su causa, la probabilidad de ocurrencia y el tiempo que transcurre entre cada una de ellas.

Para el proceso de análisis se adoptó un diseño no experimental, ya que, los datos obtenidos no se modificaron, ni fueron sujetos a manipulación de ningún tipo, se obtuvieron las tablas de la base de datos de una organización la cuales se segmentaron y analizaron para la obtención de resultados.

- Unidad de análisis

La población de análisis será el conjunto de activos críticos, físicos en su clasificación de maquinaria y equipo para una organización dedicada a la generación de energía eólica, analizados a través de las órdenes de trabajo generadas en un periodo de tiempo igual a un año para los activos críticos de la organización obtenida a través de la descarga masiva de datos a través de su base de datos.

Tabla 1.

Variables de estudio

Variable	Definición Teórica	Definición operativa
Códigos de cierre	Su utilización brinda a todos sus técnicos de mantenimiento una base de conocimientos compartida y confiable para usar en reparaciones consistentes (Short, 2018).	A través del análisis de los códigos de cierre se pueden tomar medidas de prevención para las causas de las fallas más comunes, para eliminar y/o mitigar su ocurrencia.
Orden de trabajo	Este es un documento donde se registran las actividades realizadas a cada activo, como “trabajo a realizar, prioridad, fechas, riesgos, herramientas” (Plaza, 2009, p. 130)	Para el análisis de datos se tomarán las órdenes de trabajo como registros electrónicos que brindarán información de actividades, códigos, fechas, tiempos y costos.
Disponibilidad	Es “la probabilidad de que un equipo realice las funciones requeridas en un instante o periodo de tiempo determinado, siempre que funcione y se mantenga de acuerdo con los procedimientos establecidos” (Arques, 2009, p. 65).	$Disponibilidad = (Hrs\ disponibles / Hrs\ Planificadas) * 100$

Continuación de la tabla 1.

Variable	Definición Teórica	Definición operativa
Criticidad	Es la capacidad que tiene un activo de generar un impacto sobre la producción. También “ayuda a determinar la importancia y las consecuencias de los eventos potenciales de fallos” (Parra y Crespo, 2012, p. 57).	Criticidad = Frecuencia de falla x Impacto

Nota. Variables. Elaboración propia, realizado con Excel.

INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo tiene como objetivo desarrollar una propuesta para una forma de evaluación del mantenimiento industrial y el análisis de las fallas como un medio para tratar la disminución en la disponibilidad de los activos que son críticos para el proceso de producción. Este busca proveer con una guía para el análisis del mantenimiento industrial a cualquier organización independiente de su actividad productiva. La importancia de las máquinas en el proceso productivo es proporcional al desarrollo e innovación que se tiene en la producción actual.

El estudio busca proveer medios para la detección de las fallas en los activos críticos, estos activos críticos son activos fijos en su clasificación de maquinaria y equipo, se desea analizar únicamente los que son críticos para el proceso de producción, es decir, aquellas máquinas que representan un impacto significativo y crítico en la producción. Para tratar y mitigar tiempos muertos o improductivos de estos activos críticos se necesita conocer la frecuencia con la que ocurren y a qué activos o equipos afectan.

La importancia del estudio presentado se fundamenta en que la disminución en la disponibilidad de los activos críticos es de gran impacto para las organizaciones, ya que estos activos son elementos fundamentales para la producción y la falla de estos puede significar atrasos en producción, afectación de la calidad, seguridad e impactos económicos significativos para la organización.

Los resultados principales fueron la detección de las fallas frecuentes y principales que afectan la disponibilidad de los activos críticos para la organización piloto, dedicada a la generación de energía eólica por medio de aerogeneradores, la detección de estas fallas permitió encontrar a través del análisis, estratificación y segmentación de datos los tiempos de afectación de operación de las máquinas y el impacto económico en términos de inversión humana y materiales para resolver estas fallas.

En la realización de esta investigación, se benefició principalmente la organización piloto, a la cual se le realizó el análisis completo de sus órdenes de trabajo por medio de las conclusiones y recomendaciones mostradas en este documento, también se benefició la empresa dedicada a brindar soluciones en la gestión de los activos empresariales proveyéndoles una guía para detectar y analizar las fallas en las organizaciones y a toda entidad o persona que desee abordar el tema del modo de falla de los activos críticos y mejorar su disponibilidad para disminuir los costos asociados a el tiempo ocioso de los equipos.

El informe está estructurado por la integración de cinco capítulos. En el capítulo uno se presenta el marco referencial, en este se describen los estudios previos de la detección de fallas, la importancia de la investigación de la disponibilidad de los activos críticos y como los hallazgos de las fallas contribuyen al mejoramiento de la disponibilidad de los activos.

En el capítulo dos se presenta el marco teórico, en este se describe con mayor profundidad las metodologías y teoría necesaria para llevar a cabo la investigación, aborda los temas de los activos críticos, el mantenimiento y sus tipos, indicadores clave y métodos de utilidad para el análisis de las órdenes de trabajo.

En el tercer capítulo, se presenta el desarrollo de la investigación, en este capítulo se describe la metodología utilizada para la recopilación de datos, la descripción de la investigación realizada a través de sus fases y procedimiento de análisis de datos para la presentación de resultados.

En el capítulo cuatro, se muestran los resultados obtenidos del análisis de información, en esta sección se muestran las tablas y gráficos producto de la segmentación y muestreo estratificado realizado, como se detectaron las fallas a partir de datos fríos y sus resultados derivados como el tiempo medio entre fallas y los costos de mantenimiento por falla.

El capítulo cinco corresponde a la discusión de resultados, donde alineado a cada objetivo se describen los hallazgos de la investigación, la interpretación de los resultados obtenidos en la investigación y la comparativa de los datos obtenidos con autores que han desarrollado investigaciones.

1. MARCO REFERENCIAL

Las máquinas desde la revolución industrial han sido utilizadas y creadas por el hombre como una manera de ayuda en el trabajo, las máquinas han sido el motor que impulsa la industria y su progreso ha sido proporcional a la innovación en la tecnología. Aunque las máquinas y los operadores no siempre han tenido buena relación, ya que hasta el día de hoy se busca ordenar los intereses de cada uno, máquinas y personal, hacia un mismo objetivo. Resaltar la importancia de las máquinas para el hombre y la industria, es hacerlo desde su forma más sencilla, así como una herramienta por su utilización es considerada una máquina básica para el hombre, un martillo o un cuchillo, un motor de combustión o un horno, es una máquina esencial para la industria.

Con respecto a la importancia y el impacto de las máquinas en la industria, Di Fiore & Terlato (2021), concluyen que:

En los comienzos de la Revolución Industrial la máquina reemplaza al trabajo del hombre a partir de la automatización y desde entonces el trabajo busca destrezas complementarias. En sus inicios era un trabajo en conjunto la labor del operador y la máquina, pero esto con el aumento de la automatización, innovación y la industria 4.0, que hace referencia a la inteligencia artificial, provoca que el futuro del trabajo sea incierto.

Este cuestionamiento es relatado por el autor cuando es expresado que, en estos días, donde las máquinas, nuevamente y a partir de la inteligencia artificial y el aprendizaje de máquina, se proponen reemplazar las decisiones que hasta hoy tomaban quienes las operaban. (p. 12)

Y eleva la importancia de las máquinas en los procesos productivos.

Los avances tecnológicos y el aumento de la utilización de máquinas en los procesos se aceleran rápidamente en los últimos años.

Hasta hace poco, los bajos costos de mano de obra más el alto costo de robots industriales, representaban poco incentivo para que los países con salarios bajos invirtieran en la automatización. Esto significaría que, anteriormente la automatización no era vista atractiva para aumentar la producción, ya que invertir en automatización representaría un costo más que un beneficio económico, ahora, sin embargo, el incremento mundial de los costos de mano de obra y una nueva generación de robots más baratos, capaces y flexibles, está cambiando la ecuación.

El aumento en la adquisición de robots para producción inteligente cambia los estándares conocidos en la industria y lleva a otro entorno, indican que China está bien encaminada a convertirse en la capital de la automatización del mundo. (Hagel, Brown, Kulasooriya, Giffi, y Chen, 2015, p. 17)

Las empresas en Latinoamérica se abren paso cada vez más en el mercado mundial y con esto la industria y su gestión deben mejorar, crecer e innovar con ella. Aguilar y Delatorre (2014), afirman que:

La apertura económica, junto con las inversiones sustanciales en infraestructura y clase media en expansión, están creando enormes oportunidades de negocio en toda la región haciendo referencia a la presencia que crece cada vez más en la región. Con ello, la tecnología debe avanzar de la mano. Comentan que, aunque las empresas multinacionales de origen distinto a América Latina tienen una presencia muy visible y obtienen gran parte de la atención del mercado, las empresas latinoamericanas en realidad representan la mayoría de los negocios de la región. (p. 4)

Esto da paso a un aumento en las posibilidades de inversión y crecimiento económico a través de la industria.

Con el crecimiento de la industria, las empresas necesitan asegurar que pueden producir la demanda del mercado, por esta razón los equipos que intervienen en el proceso productivo juegan un papel importante, pero dentro de estos equipos, hay unos que son críticos para la producción.

Pesántez y Sarzosa (2009), lo define como:

Aquellos cuyas fallas producen detenciones e interferencias generales, cuellos de botella, daños a otros equipos o instalaciones y retrasos o

paradas en las actividades de los demás centros de actividad de una empresa u organización. Esto deja claro, que, dentro de la maquinaria y equipo, hay equipos que requieren atención especial ya que concluyen en que la operatividad del proceso productivo depende directamente de las condiciones en las que se encuentran los equipos que intervienen en él. (pp. 2-7)

Conocer que existen activos críticos para los procesos es importante, pero es más poder identificarlos. Tandalla, (2017), en su investigación se plantea que “realizar el análisis de criticidad de equipos para mejorar el sistema de gestión del mantenimiento” (p. 5). Con este objetivo plantea un modelo de criticidad para una empresa de aluminio y en este planteamiento, Tandalla (2017), concluye en que “el análisis de criticidad permite establecer prioridades de acuerdo a su índice y mediante el tratamiento de los resultados establecer estrategias de mantenimiento que gobiernen sobre los ítems mantenibles, bajo la concepción de la teoría del riesgo” (p. 87).

Pero, establecer los activos críticos solo es una parte del proceso, ya que cada equipo que interviene en un proceso productivo está sujeto a mantenimiento; dentro de los mantenimientos, el correctivo, el cual se ejecuta al detectar una falla o avería, nos brinda información valiosa para el activo.

Aguilar, Torres y Magaña (2010), declaran que “cada falla que se puede presentar en una planta de proceso representa un riesgo potencial, por lo cual es esencial entender cómo se presenta, entendiendo la forma en que los equipos fallan, podremos diseñar mejores acciones correctivas o preventivas” (p. 16).

Se entiende que como estos equipos llegan a fallar, pueden estar preparados para evitar estas fallas. Según Aguilar, Torres y Magaña (2010), “el nivel de detalle en la identificación de los modos de falla, es aquel que nos permita relacionar una acción de prevención y/o mitigación de riesgo” (p. 21). Por esta razón es primordial su estudio, ya que de la detección y análisis de las fallas se pueden evitar y predecir para hacer una oportuna intervención de los activos antes de perder su disponibilidad. Es importante resaltar respecto al mantenimiento preventivo

Cuando el mantenimiento preventivo se convierte en prioridad sobre los demás tipos de mantenimiento y la planificación del mantenimiento toma protagonismo, se “logra que se cumpla con los tiempos de cada etapa del proceso con el más alto nivel de efectividad de la maquinaria y mantiene el equipo en un nivel óptimo de desempeño y confiabilidad” (Portillo, Pérez y de la Riva, 2022, p. 13).

Esto es crucial para obtener un producto que cumpla con las expectativas de los clientes sin comprometer la calidad del producto final y que en el proceso no se generen pérdidas económicas para la empresa productora. La definición de activos críticos no solo está ligada a su costo de adquisición y de operación.

La criticidad puede ser abordada desde distintos puntos de vista, sin embargo, tenemos directrices para poder definir la criticidad, “la criticidad de falla en equipos considera a máquinas cuya operación no puede ser reemplazada de manera inmediata o el mal funcionamiento de los equipos no permite otra alternativa de trabajo que garantice la operación normal” (Suárez, 2018, p. 37).

Es decir, que estos equipos no pueden ser sustituidos en su función para el proceso, si estos activos dejan de funcionar detienen el proceso de producción

y los subprocesos ligados a él. En la historia del mantenimiento industrial se dio una separación funcional importante, la operación y el mantenimiento o como es expresado.

Las empresas han tratado de disminuir sus costos de operación para obtener mayores ingresos, en esta búsqueda, “las empresas se vieron obligadas a distribuir a sus trabajadores para que se dedicaran a tareas específicas, dichas tareas fueron de dos tipos: Tareas de operación de las máquinas y tareas de reparación de estas” (Olarte, Botero y Cañon, 2010, p. 3).

De lo descrito anteriormente, se ha formado una división no solo funcional, sino una división de rivalidad entre la operación y el mantenimiento, pero cuando se alinean con el objetivo de producir más y mejor con menos recursos tenemos la eficiencia operacional, es un trabajo en conjunto y cada personaje cumple una función específica. Olarte, Botero y Cañon (2010), respecto al mantenimiento dicen que “todas las empresas deben considerar el mantenimiento programado como una inversión que a mediano y largo plazo evita gastos innecesarios en la reparación o daño total de sus equipos” (p. 4).

Para lograr el aumento de la disponibilidad de los equipos y mejorar los sistemas de producción actualmente lo que antes parecía una idea remota, hoy es una realidad. Del Val (2016), lo describió así: “el despliegue de la electrónica y la informática en los procesos industriales permitió automatizar las líneas de producción y que las máquinas reemplazaran a las personas en tareas repetitivas” (p. 3). Esto hizo eficiente los procesos, pero aumentó el desempleo. Sin embargo, este proceso está lejos de terminar con el aumento de la inteligencia artificial y el avance de la industria 4.0.

Las máquinas ya no necesitarán más operadores para comunicarse unas con otras y no estará lejos de una autogestión en materia de mantenimiento donde la disponibilidad estaría casi asegurada. La autogestión está ligada a que el personal operativo será en un futuro innecesario, el proceso de producción, operación e inspección se dará por la máquina misma. Las máquinas solamente ocuparán una intervención en materia de mantenimiento, por el momento. Esto, mientras no se cierre el ciclo de autogestión total, cuando una máquina estará programada para suplir el mantenimiento de otra.

El principal objeto de estudio que se realizó, son los activos críticos para el proceso productivo y su impacto en la operación industrial, según las posibilidades es medir su comportamiento a través de indicadores para controlar la operación. A partir de esta premisa, toda aquella operación que no se mide, no puede ser controlada. El aumento de la productividad en las industrias a través de las máquinas, la reducción de costos en operación, el aumento de eficiencia en operación y la autogestión descrita en los párrafos anteriores, nos muestran la importancia de contar con las máquinas en buenas condiciones para la operación. A su vez, la importancia de este estudio para poder tomar medidas en la reducción de fallas que puedan provocar paradas de equipos durante el proceso productivo.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Mantenimiento de activos

El mantenimiento puede definirse como la sucesión de tareas en orden específico ejecutadas con el objetivo de que un activo continúe con la ejecución de sus funciones según su diseño de manera adecuada y sin interrupción. Entender la importancia del mantenimiento es indispensable para dimensionar los retos y dificultades que emprende diariamente esta labor.

El mantenimiento en la industria se puede definir también como el conglomerado de tareas y actividades que se deben desarrollar para a través del personal técnico capacitado, “con la finalidad de que los equipos, máquinas, componentes e instalaciones involucrados dentro de un proceso industrial estén en las condiciones requeridas de funcionamiento para lo que fue diseñado, construido, instalado y puesto en operación” (Pérez, 2021, p. 21).

2.2. Aspectos generales del mantenimiento

El mantenimiento tiene su esencia en la ejecución secuencial de actividades para un activo o equipo, los activos tienen varias clasificaciones, para este caso específico nos centraremos en los activos fijos en su división de maquinaria y equipo.

El mantenimiento industrial, según Pérez (2021), “como principio de control de existencia o de ocurrencia tiene su esencia en una orden de trabajo,

la orden de trabajo es un documento de respaldo en el cual se lleva el registro de los trabajos realizados a los activos” (p. 80).

En términos generales la orden de trabajo puede contener la siguiente información:

- Activo a intervenir
- Tipo de mantenimiento a realizar
- Naturaleza del trabajo a ejecutar
- Fecha de realización
- Especialidad de la orden de trabajo
- Actividad por realizar
- Personas necesarias
- Código de falla (de ser una orden correctiva)

Posterior a la realización de la orden de trabajo se debe dejar constancia de lo realizado y una retroalimentación de lo ejecutado en la misma, alguna información relevante puede ser:

- Registro de mano de obra
- Lista de comprobación de trabajos (si se requiere)
- Código de problema, causa y acción (en las órdenes de trabajo preventivas)
- Fecha de finalización de trabajo
- Piezas o materiales utilizados en la ejecución del mantenimiento
- Costos asociados

2.2.1. Objetivo del mantenimiento

El objetivo principal de mantenimiento en la industria es asegurar el correcto funcionamiento de los activos de una organización, brindando la disponibilidad del activo en tiempo y funcionamiento adecuado para su intervención en el proceso productivo. Su importancia radica en lograr que los activos se desempeñen sin fallas durante el periodo de tiempo establecido entre mantenimientos.

El mantenimiento fue creado con la función de mantener a los activos en operación, esto implica reparar las fallas que puedan surgir de los activos tanto en operación como fuera de ella, es decir, las que surjan como alarmas o alertas de los equipos, en operación como fuera de ella. En la búsqueda de este objetivo el mantenimiento se ha visto durante mucho tiempo más como una tarea de corrección y no tanto de prevención. Existen objetivos que pueden establecerse como los lineamientos para el mantenimiento en la industria (García, 2016).

- Asegurar el tiempo disponible de los activos
- Cumplir con la fiabilidad de los activos para la operación
- Garantizar que los activos alcancen su vida útil prevista y, de ser posible, alargar la vida de estos
- Lograr los objetivos anteriores ajustándose a un estricto presupuesto, buscando siempre la optimización de los recursos tanto económicos como humanos.

2.2.2. Problema en mantenimiento

Dentro del mantenimiento industrial tenemos dos grandes divisiones básicas, el mantenimiento preventivo y mantenimiento correcto. Estas como las

principales ya que en el mundo del mantenimiento industrial se introducen más divisiones de éste, como el mantenimiento predictivo, productivo total, entre otros. También puede variar el nombre de cada uno de ellos según autor o ejecutor del mantenimiento.

En la clasificación de mantenimiento correctivo se puede dividir en mantenimiento correctivo programado y no programado. El mantenimiento correctivo parte del reporte de un problema, el problema es el efecto que tiene una falla sobre el activo o equipo, es decir, el reporte de una mala operación de un activo se debe principalmente a el problema que presenta, por ejemplo, no enciende, presenta daño, ruido o vibración, entre otros.

2.2.3. Falla en mantenimiento

Como se definió anteriormente, la falla es la causa de un problema. La falla o en algunos casos llamada error, “toda condición que afecta la operación normal de una máquina/equipo” (Montilla, 2016, p. 20). La falla afecta directamente al funcionamiento del activo y este a su vez a la actividad productiva.

No siempre las máquinas estarán en óptimo funcionamiento, también existe según el activo un tiempo de vida del activo, al atravesar el umbral en que las fallas de estos activos dejan de suceder por causas controlables, llega un momento para el activo donde, “los fallos son totalmente aleatorios y el equipo técnico de mantenimiento poco (o nada) puede hacer para anticiparse a ellos, aparece un aumento paulatino de averías que históricamente se han asimilado a desgastes, deterioros por fatiga, envejecimientos mecánicos, entre otros” (González, 2005, p. 125).

2.2.4. Causa en mantenimiento

La causa es la raíz que origina la falla. Al igual que todo problema que fue ocasionado por una falla tiene su origen en una causa, esta causa es punto de análisis para poder predecir, mitigar y eliminar su producto, en este caso, una falla.

2.2.5. Acción en mantenimiento

La acción se puede definir como las medidas que se toman en un mantenimiento para arreglar, reparar o restablecer el activo o equipo a su funcionamiento normal. La acción nos indica la forma en que se resuelve el problema inicial. En mantenimiento el problema, falla, causa y acción son identificados mediante códigos, los cuales facilitan su identificación y análisis.

2.3. Tipos de mantenimiento

El mantenimiento industrial los tipos de mantenimiento nos ayudan a poder clasificar de manera adecuada los trabajos o actividades que se ejecutan en los activos para su correcto funcionamiento. Los tipos de mantenimiento dependen no solo del autor, sino también del tipo de industrial al cual nos estemos refiriendo, trataremos los tipos de mantenimiento más comunes. “Aunque podrían establecerse diferentes clasificaciones del mantenimiento, atendiendo a las posibles funciones que se le atribuyan a éste, así como la forma de desempeñarlas, (...) depende de muy diversos factores” (Gómez, 1998, p. 25).

2.3.1. Mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo, “También llamado *a rotura* [Breakdown maintenance], sólo se interviene en los equipos cuando el fallo ya se ha producido” (Gómez, 1998, p. 25). Para que el mantenimiento correctivo tome lugar es necesario que se haya producido la falla, está se reporta al departamento de mantenimiento y origina una orden de ejecución de mantenimiento.

Es importante resaltar que, según Souris (1992), “son trabajos que hay que ejecutarse como consecuencia de incidentes anteriores, condiciones de asistencia en la reparación, entre otros” (p. 20). Se trata del mantenimiento de mayor antigüedad.

2.3.1.1. Ventajas del mantenimiento correctivo

Para algunas personas el mantenimiento correctivo no puede tener ventajas, ya que estamos hablando que este, desencadena una serie de sucesos perjudiciales para el mantenimiento, por lo tanto, no puede ser beneficioso, pero, como se mencionó anteriormente, el mantenimiento correctivo, podría ser el mantenimiento más antiguo, donde la prevención no era un factor a considerar.

Como fue definido, el mantenimiento correctivo tiene su origen en una falla y de ésta se puede obtener información relevante para predecir el próximo fallo, encontrar una manera adecuada de tratar este tipo de problemas, entender la manera de operación y fallo de los equipos. A continuación, se presenta una lista de las ventajas del mantenimiento correctivo:

- Su fin principal es reestablecer el adecuado funcionamiento de los activos y prolongar el tiempo de vida útil de los mismos.

- No representan gastos fijos para la organización.
- Da la posibilidad de elegir la reparación o sustitución del componente dañado o activo.
- Es un indicador de la calidad de los repuestos, piezas o componentes que se dañan y su forma de empleo.
- No requiere una estructura previa de planificación, si bien, se puede planificar la intervención del activo, la falla es más difícil de predecir.
- Nos brindan información importante para la condición de los activos.

2.3.1.2. Desventajas del mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo por su naturaleza puede traer consigo una serie de desventajas para la organización, éstas se dan directamente en la continuidad de funcionamiento del activo, pero repercuten en producción, planificación, ámbito financiero, entre otros. Dentro de sus desventajas podemos mencionar:

- Costo de mantener inventario para reparación.
- En algunos casos obliga a mantener artículos en lenta rotación por su importancia para el proceso.
- Es muy difícil predecir su ocurrencia y está puede darse en el momento menos oportuno.

- Si es una falla que no puede tratarse en el momento que se genera, puede representar defectos en el producto, costos adicionales a producción y generar condiciones inseguras de trabajo.
- Una falla puede no venir sola, está, puede generar que otras piezas o componentes también presenten daños.
- Se asume que en términos monetarios hay un rango de incertidumbre debido a que no se pueden controlar al cien por ciento la cantidad de averías que se presentarán en una ventana de tiempo.

2.3.2. Mantenimiento preventivo

Este también es llamado en algunas industrias mantenimiento planificado, en su forma más básica podemos decir que es “el conjunto de actividades programadas a equipos en funcionamiento que permiten en la forma más económica, continuar su operación eficiente y segura, con tendencia a prevenir las fallas y paros imprevistos” (García, 2012, p. 55)

Según Vaughn (2014), “el mantenimiento preventivo es una mejora sobre el mantenimiento correctivo, en muchos casos. Pero no es un mantenimiento que lo cura todo” (p. 25).

Esta afirmación es vital en el proceso, ya que se podría pensar que incrementando la programación y los planes de mantenimiento preventivo se podría eliminar la ocurrencia de las fallas, pero esto no es verdad, además que la organización tendría que incurrir en altos costos de mantenimiento por tener los materiales necesarios para cada uno de ellos, contar con el personal técnico

capacitado para la realización de los mantenimientos y gastos innecesarios por cambio de componentes que aún podrían tener vida útil.

El otro extremo sería tratar todo como un mantenimiento correctivo, esto tampoco es recomendable, ya que esperar a que un equipo falle para su intervención es operar en el mar de la incertidumbre, por esto, “el criterio esencial, para una planta o departamento determinado, es hacer una comparación de costos. Esta comparación a menudo recomienda una mezcla de ambos programas” (Vaughn, 2014, p. 25).

Por esta razón no se puede asegurar que el mantenimiento preventivo podrá resolver todos los problemas de mantenimiento, pero sí representa un ayuda sustancial en el proceso de mitigación de fallas.

En la operación normal de mantenimiento también se deben tomar en cuenta distintos factores que pueden limitar el área de acción del mantenimiento preventivo, en algunos casos, los altos costos de los repuestos y la difícil intervención de los activos, ya sea por su constante interacción en el proceso de producción o la dificultad de acceso a la pieza o componente, que se desea cambiar en el mantenimiento preventivo, hacen que la mejor decisión sea mantener el activo en funcionamiento hasta el fallo, ya que representa un menor costo el cambio del componente dañado que ejecutar rutinas de mantenimiento preventivo.

Si bien estos casos pueden ocurrir, no se puede generalizar en que se presentan en cada organización o industria.

2.3.2.1. Mantenimiento periódico

El mantenimiento periódico hace referencia al tipo de mantenimiento preventivo que se realiza cada seis meses o un año, este normalmente se realiza por un paro de producción debido a la demanda o por el tipo de actividad productiva. En el tiempo que no se opera se realizan estos mantenimientos que suelen ser mayores para realizar un gran número de tareas preventivas.

Durante estos mantenimientos se requiere una cantidad de materiales a utilizar que debieron ser adquiridos con antelación para no afectar la ejecución de este mantenimiento. Para que sea un mantenimiento periódico se debe tener clara la periodicidad con la que se efectuarán los mantenimientos, la periodicidad con la que se revisan los equipos dependerá del desgaste que presenten los componentes del equipo y de la calidad de esos componentes, si presentan fugas u otros defectos (Mancuzo, 2020).

2.3.2.2. Mantenimiento programado

Este mantenimiento también se conoce como mantenimiento de intervalos fijos, este tipo de mantenimiento se diferencia del mantenimiento periódico por la frecuencia de realización ya que la ejecución de este no depende de las ventanas de tiempo que se puedan tener sino de las especificaciones técnicas de los activos, requerimientos según el manual del fabricante o la experiencia del representante de mantenimiento.

2.3.2.3. Mantenimiento de mejoras

Este tipo de mantenimiento es común en las organizaciones, pero normalmente no se le cataloga como un tipo de mantenimiento, en este se busca

realizar algún cambio o modificación al activo para aumentar su eficiencia o desempeño dentro de las actividades productivas. Este es producto de una reingeniería en el proceso o rediseño del activo.

2.3.2.4. Mantenimiento autónomo

Este tipo de mantenimiento se introduce como parte de la filosofía del mantenimiento productivo total, este “se fundamenta en que la persona que utiliza un equipo productivo es la más calificada para ocuparse de su buen funcionamiento, inspección y medidas preventivas a su alcance en función del entrenamiento que haya recibido” (Cuatrecasas, 2012, p. 675).

También es utilizada en industrias pequeñas donde los operarios son también empleados del mantenimiento, no siempre ocurre de esta manera. En industrias de gran tamaño se tiene personal específico de operación que pertenece a producción y personal técnico que pertenece al área de mantenimiento.

2.3.2.5. Mantenimiento rutinario

El mantenimiento rutinario normalmente se encuentra compuesto de otros tipos de mantenimiento, este puede ser programado por el administrador de mantenimiento según el manual de fábrica del activo o también como solicitud por parte del operario del activo o del personal de técnico de mantenimiento. Como su nombre lo indica lo componen rutinas establecidas ya sea durante operación o con el equipo en paro. Los mantenimientos más comunes de este tipo son la lubricación e inspecciones.

2.3.3. Mantenimiento predictivo

El mantenimiento predictivo es un mantenimiento que centra su atención en detectar las fallas que aún no ocurren, esto se puede realizar por monitoreos de condición, análisis de vibraciones, termografía, entre otros. Su objetivo es evitar el fallo, aunque existen *software* que pueden predecir las fallas en los equipos, la mayoría de ellos, utilizan datos históricos para sus predicciones, es decir, se necesita que el activo falle para poder tener datos históricos para realizar un análisis posterior, así que, no es tan simple.

Este tipo de mantenimiento no se genera a partir de una falla, al contrario, su función es evitar que se den, como lo describe García (2010), “es un tipo de mantenimiento que relaciona una variable física con el desgaste o estado de una máquina. El mantenimiento predictivo se basa en la medición, seguimiento y monitoreo de parámetros y condiciones operativas de un equipo o instalación” (p. 69).

2.4. Criticidad en activos fijos

La criticidad de un activo está relacionada directamente con el impacto que tiene para la producción, ya sea generando retrasos a está, fallos o desperfectos en maquinaria adyacente o paros generales. Comúnmente se relaciona a los cuellos de botella en los PPC (Puntos críticos de control), que lleva a pensar en esos activos fijos de los cuales no se puede prescindir en la organización para su función óptima.

$$\text{Criticidad} = \text{Frecuencia de falla} \times \text{Impacto} \quad (\text{Ec. 1})$$

La criticidad también se define como la prioridad de atención que se le da a un activo sobre el total de activos que tiene la organización y para cada departamento de la organización esta criticidad puede ser diferente. Para el departamento contable la prioridad puede estar sobre los activos de mayor valor, pero para el departamento o división de mantenimiento estará sobre la medición de impacto de este activo sobre la operación.

2.4.1. Riesgo en mantenimiento

El factor de riesgo surge de esperar ciertos resultados de la operación que estamos desarrollando. Al esperar que ocurran resultados específicos, la probabilidad de que estos no ocurran, le llamamos riesgo.

$$\text{Riesgo} = \text{Probabilidad de falla} \times \text{Consecuencias} \quad (\text{Ec. 2})$$

El riesgo es una situación no deseable que tiene una probabilidad de ocurrencia, al ser una probabilidad el riesgo puede ser cuantificable y se puede medir en función del impacto que tiene sobre todos los activos, riesgo absoluto, o se puede medir sobre una muestra, es decir, los activos críticos, estudiando la probabilidad de ocurrencia entre cada una de las fallas que presentan estos activos, a esto le llamamos riesgo relativo.

2.4.2. Análisis de criticidad

El análisis de criticidad está relacionado al orden funcional de los activos de la organización, es decir, este asociado a una jerarquía dentro de los activos fijos. Esta jerarquía sirve dentro de la organización de activos para clasificarlos según su función, desempeño, prioridad, ubicación, entre otros.

Al contar con un conjunto de activos que no están clasificados en jerarquías se hace difícil la toma de decisiones sobre estos, ya que no se tiene una priorización sobre los activos que están en operación. Una clasificación básica es separarlos en sistemas, posiciones y activos.

Dentro de los activos se pueden separar en activos, componentes y subcomponentes. Cada uno de estos tiene una prioridad al momento de que presenten una falla, para tener esta prioridad de trabajo se realiza un análisis de criticidad en el cual se determina su impacto individual sobre la operación evaluando criterios propios de cada organización.

2.4.3. Confiabilidad

Según Arata (2009), “la confiabilidad se define como la probabilidad que un elemento funcione, sin fallar, durante un tiempo determinado bajo condiciones ambientales y de entorno preestablecidas” (p. 104). Se puede estar seguro de que un activo sea crítico o no, durante el tiempo que esté en la organización o durante su vida útil, puede presentarse en dos estados, en operación o detenido, ya sea por mantenimiento o por falla.

La confiabilidad también puede obtenerse, al igual que en los instrumentos de medición, tomando como base un estándar, es decir, una medida confiable comparativa para saber el estado del activo, este puede ser, el manual del fabricante. De no tenerse un parámetro comparativo para medir la confiabilidad se utilizarán como parámetros los fallos del activo en operación para determinar la confiabilidad del activo.

2.4.4. Disponibilidad

La disponibilidad a menudo puede confundirse con otros conceptos como confiabilidad, pero Romeva (2010) explica que la confiabilidad puede referirse a que el activo, sea crítico o no, debe de estar en condiciones de ser utilizado cuando se necesite ser utilizado, en otras palabras, la capacidad de una máquina de cumplir la función para la cual fue diseñado en un momento cualquiera en el tiempo.

Esto indica la importancia, la razón de adquisición, de un activo. En su categorización de crítico el activo debe de estar disponible para su utilización el tiempo que se requiera, de allí, la importancia del mantenimiento, que un activo esté disponible y en óptimas condiciones para ser utilizado en el momento que se requiera.

2.4.5. Fiabilidad

La fiabilidad está estrechamente relacionada con la capacidad, de un componente, activo o sistema, de operar y producir según lo previsto o planificado. Esto indica que el activo debe estar en funcionamiento para poder cumplir con lo establecido, “la fiabilidad es el resultado de dividir un tiempo, una distancia o cualquier otro parámetro por un número de fallos” (Arques, 2009, p. 99). La fiabilidad es directamente proporcional a la disponibilidad, si la fiabilidad aumentó la disponibilidad lo hará también.

2.4.6. Mantenibilidad

“La mantenibilidad de un sistema es la probabilidad de que un aparato en fallo sea restaurado completamente a su nivel operacional dentro de un periodo

de tiempo dado” (Solé, 1991, p. 37). La mantenibilidad es específica del mantenimiento, es la capacidad que tiene la organización a través de su personal técnico de restablecer un activo o equipo a su funcionamiento, esto quiere decir que puede tomarse con un indicador importante en el mantenimiento de los activos.

2.5. Técnicas de análisis

A continuación, se presentan las diversas técnicas de análisis.

2.5.1. Métodos de análisis de criticidad

Para llevar a cabo la evaluación de la importancia crítica, es fundamental tener información sobre el estado actual de los activos fijos en la categoría de maquinaria y equipo que los compone. La mayoría de los métodos de análisis se basan en una retroalimentación del proceso actual, identificación del tipo de operación de cada parte del proceso productivo y el impacto propio de cada activo a los departamentos relacionados, si bien estos pueden variar, la mayoría de los activos fijos utilizados para producción están estrechamente relacionados con mantenimiento, producción u operaciones, calidad y Seguridad ocupacional.

2.5.1.1. Método de Ciliberti

Este método surge de una combinación de matrices de criticidad combinadas, que dan un análisis más preciso y confiable para la toma de decisiones. Es decir, esta se basa en dos perspectivas diferentes que inciden directamente en el ambiente productivo, la perspectiva de la seguridad en los procesos, higiene y ambiente, con su propia matriz y otra perspectiva que toma

como base el impacto generado en la producción (Gutiérrez, Agüero y Calixto, 2007).

Referente a la producción se tiene:

Figura 1.

Consecuencias de procesos categorías

<i>Categorías de Consecuencias de Procesos</i>		
A	Muy Alta	<i>Pérdidas mayores de producción. Impacto financiero a nivel corporativo</i>
B	Alta	<i>Impacto financiero a nivel de la unidad de producción. Pérdidas significantes de producción entre el 50% y el 100% por cortos periodos de tiempo (<48 horas).</i>
C	Media	<i>Impacto financiero a nivel de la unidad de producción. Pérdidas de producción entre el 10% y el 50% por cortos periodos de tiempo (<48 horas).</i>
D	Baja	<i>Pérdidas menores de producción (<10%) por cortos periodos de tiempo (<48 horas). Reducción de carga mayor al 10%.</i>
E	Despreciable	<i>Capacidad del proceso de producción no impactada. Reducción de carga menor al 10%.</i>

Nota. Categorías de consecuencias de procesos. Obtenido de E. Gutiérrez, M. Agüero y I. Calixto. (2007). *Análisis de Criticidad Integral de Activos.* (p. 5). Fundación bigott.

Figura 2.

Probabilidades del proceso categorías

<i>Categorías de Probabilidades del Proceso</i>		
1	Muy Alta	Definitivamente sucede (80% - 100%). $0 < MTBF \leq 12$ Meses
2	Alta	Probable (10% - 80%). $12 < MTBF \leq 36$ Meses
3	Media	Posible (1% - 10%) $36 < MTBF \leq 60$ Meses
4	Baja	Improbable (0.1% - 1%) $60 < MTBF \leq 120$ Meses
5	Despreciable	Prácticamente imposible. ($< 0.1\%$) $MTBF > 120$ Meses

Nota. Categorías de probabilidades de procesos. Obtenido de E. Gutiérrez, M. Agüero y I. Calixto. (2007). *Análisis de Criticidad Integral de Activos*. (p. 5). Fundación bigott.

Los rangos de probabilidades que se muestran en la figura son alusivos a un caso específico, estos rangos pueden variar según la operación que estemos analizando y las condiciones de cada activo dentro de la organización. En cuanto al proceso de seguridad, higiene y ambiente se tiene lo siguiente:

Figura 3.

Categorías de las consecuencias

<i>Categorías de las Consecuencias de Seguridad, Higiene y Ambiente.</i>		
A	Muy Alta	<i>Múltiples fatalidades del personal propio o contratado.</i>
B	Alta	<i>Muerte de un trabajador propio o contratado. Daños severos o enfermedades en personal de la unidad de producción.</i>
C	Media	<i>Tratamiento médico requerido para el personal de la instalación. Incidentes ambientales menores que requieren sean reportados según los lineamientos de Seguridad, Higiene y Ambiente.</i>
D	Baja	<i>Tratamiento médico menor o cuidados de primeros auxilios requeridos para el personal de la planta. Incidentes ambientales no reportables.</i>
E	Despreciable	<i>Ninguna consecuencia de seguridad, higiene y ambiente.</i>

Nota. Categorías de consecuencias de seguridad, higiene y ambiente. Obtenido de E. Gutiérrez, M. Agüero y I. Calixto. (2007). *Análisis de Criticidad Integral de Activos.* (p. 5). Fundación bigott.

Figura 4.

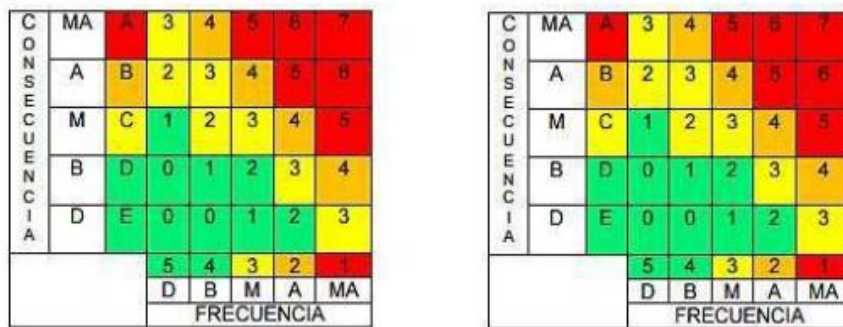
Categorías de las probabilidades

<i>Categorías de Probabilidades Seguridad-Higiene y Ambiente</i>		
1	Muy Alta	<i>Uno o más eventos es posible que sucedan anualmente.</i>
2	Alta	<i>Varios eventos es posible que sucedan a lo largo de la vida útil del activo o de la unidad.</i>
3	Media	<i>Un evento es posible que suceda en la vida útil del activo o de la unidad.</i>
4	Baja	<i>No se espera que suceda un evento a lo largo de la vida útil del activo o de la unidad, pero la ocurrencia del mismo es posible.</i>
5	Despreciable	<i>Prácticamente imposible.</i>

Nota. Categorías de probabilidades, seguridad, higiene y ambiente. Obtenido de E. Gutiérrez, M. Agüero y I. Calixto. (2007). *Análisis de Criticidad Integral de Activos.* (p. 5). Fundación bigott.

Según el análisis efectuado mediante las categorías de consecuencias y probabilidad, se elaboran matrices de riesgo para los procesos individuales por separado, lo que da como resultado niveles únicos para cada activo, como se ilustra en la matriz que sigue:

Figura 5.
Matrices de riesgo Ciliberti



Nota. Matrices de riesgo proceso, seguridad, higiene y ambiente. Obtenido de E. Gutiérrez, M. Agüero y I. Calixto. (2007). *Análisis de Criticidad Integral de Activos*. (p. 5). Fundación bigott.

Los resultados obtenidos de ambas matrices deben ser combinados en la matriz de criticidad, una matriz donde se combinan las criticidades obtenidas individualmente y su nivel de criticidad nuevo será la combinación de los factores que afectan al proceso, seguridad, higiene y ambiente.

Figura 6.

Categorías de consecuencia crítica

MA	NIVEL DE CRITICIDAD EN PROCESO	5-7	A	A	A	A	A
A		4	B	B	B	A	A
M		3	C	C	B	B	A
B		2	D	C	C	B	A
D		0-1	E	D	C	B	A
			0-1	2	3	4	5-7
			NIVEL CRITICIDAD EN SHA				
			D	B	M	A	MA

Nota. Categorías de consecuencias de seguridad, higiene y ambiente. Obtenido de E. Gutiérrez, M. Agüero y I. Calixto. (2007). *Análisis de Criticidad Integral de Activos*. (p. 5). Fundación bigott.

Los resultados obtenidos serán el reflejo de los datos analizados e ingresados en la matriz, esto es importante mencionarlo, debido a que difícilmente se contemplarán todas las variables que pueden resultar en una probabilidad de ocurrencia de algún tipo de evento. Por esta razón se deben establecer las bases sobre las cuales se desarrollará la matriz de criticidad de los activos.

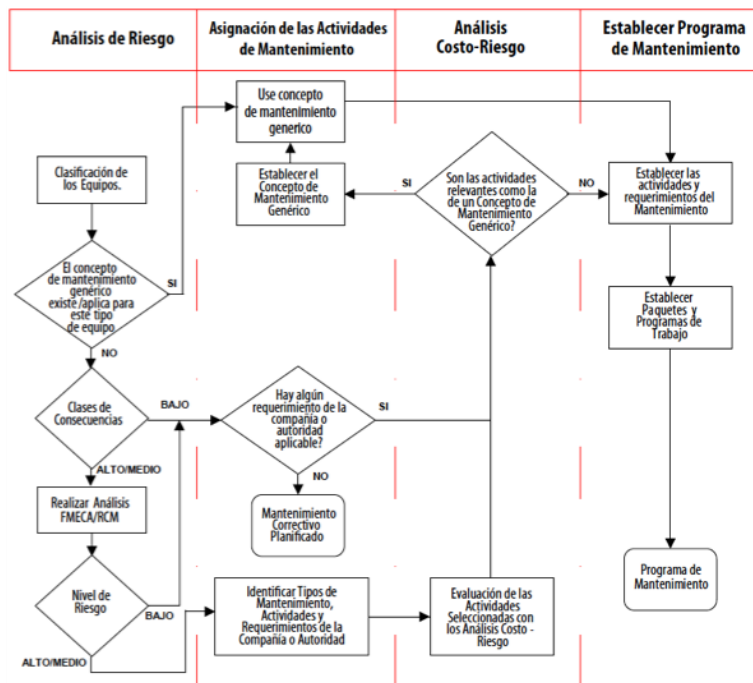
2.5.1.2. Norsok standard Z-008

La norma Norsok es una norma que surge bajo la necesidad de establecer criterios de criticidad diferentes, esto debido a que la norma fue desarrollada para la industria petrolera Noruega. Si bien, esta norma fue desarrollada para una industria, no significa que no aplique para otra. Dado que el factor climático y las difíciles condiciones de seguridad son diferentes en este tipo de industria, no se podían adecuar otros métodos con distintos estándares para definir certeramente la criticidad de estos activos.

Esta norma se aplica para activos mecánicos con algunas restricciones, entre ellas estructuras flotantes, oleoductos, entre otros. Para los fines de las industrias cuyas condiciones son activos estáticos o rotativos, incluye los activos o equipos eléctricos la norma es aplicable, según el flujo:

Figura 7.

Diagrama de proceso de riesgos



Nota. Diagrama de proceso, estructura funcional y análisis de criticidad. Obtenido de E. Gutiérrez, M. Agüero y I. Calixto. (2007). *Análisis de Criticidad Integral de Activos*. (p. 7). Fundación bigott.

El fin de la utilización de la norma es establecer mantenimientos programados preventivos para tratar las fallas más comunes de los activos críticos establecidos por la metodología. Este análisis no se basa en una matriz, sino en el flujo para determinar una jerarquía de los activos para establecer esos

activos críticos y como resultado establecer planes de mantenimiento asociados a los activos para controlar los fallos.

2.5.2. Análisis de riesgo

El análisis de riesgo se basa en técnicas que nos permiten medir los efectos de la materialización del riesgo, estas pueden ser cualitativas, cuantitativas o una combinación de estas.

2.5.2.1. Técnicas cualitativas

Estas técnicas son aquellas que nos permiten medir a través de eventos observables, realizar una estimación del riesgo que conlleva la ocurrencia de este evento. Los criterios de estimación se basan en factores de naturaleza cualitativa como la probabilidad de ocurrencia, en la escala de medida muy probable hasta la menos probable, coloca entre los extremos la cantidad de medidas cualitativas que se requieran.

La estimación cualitativa también se basa en las consecuencias que puedan surgir se la probabilidad que estas ocurran, por ejemplo, crítico o severo hasta no perceptible o de bajo impacto para la operación. La limitante de esta técnica es que se basa en el criterio de las personas que realizan el análisis por lo que no siempre un evento se puede catalogar en la misma escala.

2.5.2.2. Técnicas semicuantitativas

Estas técnicas combinan los criterios de evaluación de las técnicas cualitativas, pero agregan valor a través de rangos de ocurrencia o probabilidad para realizar de manera más asertiva su clasificación. Una vez que se tenga la

categorización y las probabilidades se estiman las consecuencias de manera estimada al riesgo que lo acompaña.

2.5.2.3. Técnicas cuantitativas

Esta técnica parte de que no existe un riesgo que no tenga una probabilidad de ocurrencia, siempre que sea un riesgo está asociado a una probabilidad de que ocurra, por muy pequeña o insignificante que sea. La diferencia con las técnicas semi cuantitativas se basa en que el valor obtenido de los criterios de evaluación es comparable numéricamente con estándares o criterios preestablecidos.

Tener una manera de medir el riesgo no es evitarlo, acompañado de las técnicas de evaluación se debe tener un equipo que tome decisiones basadas en los resultados para evitar que ocurran o minimizar su impacto para la operación.

2.5.3. Análisis de fallas

El análisis de fallas se centra en la detección de fallas y evaluar sus consecuencias para un producto, máquina, o proceso. El análisis de modo y efecto de las fallas puede definirse como, un procedimiento que permite identificar fallas en productos, procesos y sistemas, así como evaluar y clasificar de manera objetiva sus efectos, causas y elementos de identificación, para de esta forma, evitar su ocurrencia y tener un método documentado de prevención (López, 2018).

Este proceso ayuda a identificar las fallas en una organización, analizar el efecto que tiene el fallo en el equipo y sus consecuencias para poder determinar rutas de acción para eliminar y mitigar su impacto para la operación. La

determinación de fallas potenciales en un proceso es labor del equipo de mantenimiento de la organización, si bien, algunas máquinas que intervienen en el proceso tienen las fallas comunes en el manual de uso, la organización debe estructurar toda una codificación propia, ya que no todas las fallas son propias de un activo o máquina específica, estas pueden aplicarse a distintos activos y de esta manera facilitar su análisis.

2.5.3.1. Determinación de las fallas

Este punto representa en algunas organizaciones conflicto respecto a la utilización de las fallas, ya que la idea de una planificación para algunos representantes de mantenimiento es evitar que las fallas sucedan, pero también conocer las fallas, catalogarlas, estudiarlas y entender el modo de falla de los activos nos ayudan a planificar de mejor manera, esto se convierte en un círculo de acción en mantenimiento, conocer el historial de fallas ayuda a planificar y la planificación trata de evitar que las fallas ocurran.

Se pretende estudiar los datos históricos de las fallas, para poder conocer las fallas más frecuentes de los activos previamente determinados como críticos, para este punto se pretende abarcar la mayor cantidad de fallas que puedan afectar el funcionamiento del activo que se desea analizar.

2.5.3.2. Determinar las causas por falla

Esta determinación también se basa en datos históricos, es decir, se toman de los registros históricos que se tengan a través de las órdenes de trabajo, cada falla está asociada a una causa, ya sea real o potencial. Las causas se deben ponderar ya sea basado en estadística, como la probabilidad de ocurrencia de la falla o bien basada en criterio de un representante de

mantenimiento, para poder ponderar el impacto de la ocurrencia de estas fallas y sus causas.

2.5.3.3. Medidas de detección por falla

Para establecer estos controles es necesario realizar una clasificación del uno al diez con las fallas más frecuentes o de mayor impacto para el activo crítico. Esta clasificación como lo explica López (2017) también debe basarse en la capacidad que tendrá el departamento de mantenimiento de detectar la falla antes que suceda y esta posibilidad de detección determinará la calificación, es decir, a una probabilidad menor de detección, la falla tendrá una mayor calificación.

2.5.3.4. Determinar prioridad por falla

La prioridad es un cálculo que devuelve un valor numérico, este número es el producto de multiplicar la severidad, la ocurrencia, y la detección o detectabilidad. El RPN es un número entre 1 y 1000 que nos indica la prioridad de asignación para eliminar cada falla. (López, 2017)

Para cada organización puede ser diferente el criterio para ejecutar acciones preventivas y correctivas para cada escala en la prioridad, lo que para una organización puede significar prioridad se encuentra arriba de un nivel de prioridad del 50, pero para otra organización puede ser superior al 20. Esto dependerá del impacto, riesgo y operación de cada organización.

2.5.4. Técnica de los cinco porqués

Esta técnica fue desarrollada por la marca Toyota, su objetivo principal es encontrar la causa raíz de los problemas a través del cuestionamiento de los cinco por qué, con este método podremos “descubrir cual es la causa raíz de un determinado problema con el fin de eliminarla totalmente y habituar a las personas a meterse en el problema y a encontrar las respuestas a las preguntas, es decir, ejercitar la propia inteligencia” (Galgano, 2004, p. 84). Esta metodología se aplica para detección de las causas que originan las fallas ya que, al realizar las cinco preguntas, se podrá obtener con un grado alto de certeza la causa raíz o principal que originó la falla en los activos de criticidad alta.

2.5.5. Diagrama de flujo

Como lo indica Ugalde (1979), “los diagramas de flujo, también llamados organigramas, flujogramas o fluxogramas (...) señalan los pasos necesarios que deben efectuarse para llegar a la solución del problema” (p. 112).

Estos diagramas son una representación gráfica de un paso a paso en la ruta para explicar un proceso previamente definido, brindan información clara y concisa para poder entender un proceso a un alto nivel. “El diagrama de flujo aporta una definición más clara del problema en estudio pues da su solución por medio de una expresión lógica” (Ugalde, 1979, p. 113).

2.5.6. Diagrama de Pareto

El diagrama de Pareto representa, la regla que indica que el ochenta por ciento de los problemas que se dan en una organización normalmente tienen su origen en solo veinte por ciento de las causas, es decir, la mayoría de los

problemas por los que puede atravesar, una organización, un proceso o un elemento, son causadas por unas pocas causas. Como lo indica Horngren, Datar & Foster (2007), “Un diagrama de Pareto es una gráfica que indica con qué frecuencia ocurre cada tipo de daño, ordenado desde el más frecuente hasta el menos repetido” (p. 665).

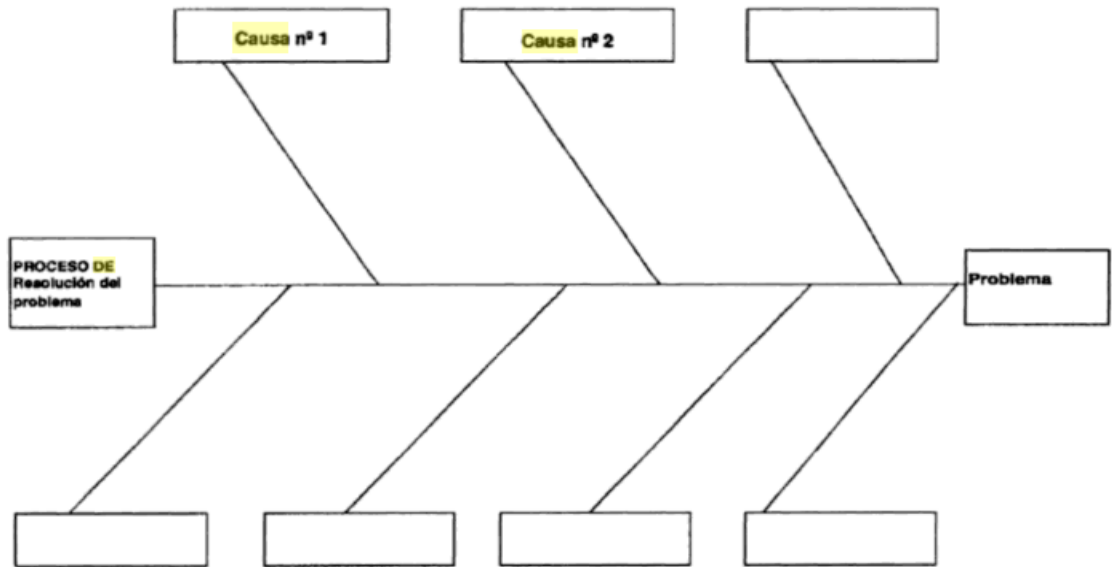
Este diagrama puede proporcionar a través de su gráfico las fallas más comunes de los activos catalogados como críticos que a su vez representarán el daño más relevante para estos activos. De esta manera del universo de fallas, se puede encontrar una población representativa para realizar un análisis de los mismos, su causa y establecer métodos de prevención.

2.5.7. Diagrama de causa y efecto

El diagrama de causa y efecto, Heizer y Render (2004), “es una herramienta que sirve para identificar problemas de calidad y puntos de inspección, también conocido como diagrama de Ishikawa o diagrama de pescado” (p. 199). Este diagrama tendrá su uso para encontrar la causa raíz de los problemas o fallas presentados en los activos críticos de los procesos a estudiar.

Figura 8.

Diagrama de Ishikawa o de causa y efecto



Nota. Diagrama causa-efecto: representación de una relación entre un efecto y sus causas. Obtenido de F. Sacristán (2003). *Técnicas de resolución de problemas, Criterios a seguir en la producción y el mantenimiento.* (p. 36). FC Editorial

3. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación para la elaboración de la propuesta de evaluación del mantenimiento industrial se realizó con una organización piloto, dedicada a la generación de energía eólica. La propuesta desarrollada cabe mencionar que no se centra en un tipo de actividad económica específica, ya que existen principios de mantenimiento básicos como la ejecución de órdenes de trabajo, disponibilidad, mantenibilidad, fallas, entre otras, que aplican para cualquier giro de negocio y el objetivo es encontrar los lineamientos para desarrollar la evaluación, las causas de disminución en la disponibilidad de los activos críticos y su impacto.

3.1. Características del estudio

El estudio de investigación que se desarrolló fue de tipo mixto, ya que se pretendía evaluar criterios cualitativos y variables cuantitativas. Dentro de los criterios cualitativos, se requería conocer el impacto de los activos en el proceso productivo (alto, moderado, bajo, entre otros), la escala de los estados de los activos, los tipos de mantenimiento, entre otros aspectos. En cuanto a las variables cuantitativas, se evaluó la probabilidad de ocurrencia de estos eventos, la cantidad de activos críticos, el tiempo promedio entre las fallas, su disponibilidad, la cantidad de órdenes de trabajo analizadas, entre otros elementos.

La investigación se desarrolló bajo un alcance correlacional, ya que se analizaron variables interrelacionadas, como la falla y su causa, el tiempo de

trabajo operativo y su costo, la frecuencia en la que ocurren las averías o fallas y el tiempo medio para que ocurran.

Para el proceso se adoptó un diseño no experimental, se realizó el análisis con los datos proporcionados por la organización, sin realizar alteraciones de ningún tipo, ya que se deseaba conocer los resultados reales producto de la ejecución de los mantenimientos en el año seleccionado.

3.2. Unidad de análisis

La población de análisis consistió en el conjunto de activos de la organización piloto. De estos activos, se seleccionaron únicamente los activos fijos para llevar a cabo el análisis. Estos activos fijos podían ser de naturaleza tangible o intangible, pero se decidió enfocarse en los activos tangibles clasificados como maquinaria y equipo.

Dentro de esta categoría de activos fijos, que estaban clasificados como maquinaria y equipo, se realizó una muestra a través de un muestreo estratificado. El objetivo era seleccionar activos que fueran representativos de un sistema más amplio. Dentro de estos activos, algunos desempeñaban un papel crítico en el proceso productivo por su función. Como parte de la investigación, se identificaron las averías y tipos de fallas para dichos activos.

El trabajo de investigación se enfocó en la identificación de los puntos críticos en el funcionamiento de los activos y equipos. Esto fue fundamental, ya que dicho funcionamiento tiene un impacto significativo en la producción, la seguridad, la calidad y las implicaciones económicas de la actividad productiva.

3.3. Fases del estudio

La investigación se segmentó en tres fases que permitieron llevar a cabo el desarrollo de manera ordenada y progresiva como se describe a continuación:

3.3.1. Fase 1. Recopilación y gestión de la información

Para el desarrollo de la investigación se recopiló la información de las órdenes de trabajo referentes a mantenimiento, realizadas por la organización en un periodo de tiempo de un año, de junio de 2022 a junio 2023, con esta ventana de tiempo, se procedió a recopilar los datos a través del *software* de gestión utilizado por la organización, dando como resultado 1434 órdenes de trabajo emitidas para dicho periodo. Estas órdenes de trabajo contienen la información referente al equipo que se intervino, su criticidad, descripción, códigos de cierre, si fue una orden de trabajo de tipo correctivo o preventivo, con la cual se realizó el análisis respectivo.

La información obtenida referente a las órdenes de trabajo se obtuvo a través de distintas bases de datos en las cuales interactúan las órdenes de trabajo, ya que se guardan en distintas tablas la información referente a costos de mano de obra, costos de material, actividades de la orden de trabajo, códigos de cierre y tiempos de actividades. Esta información se ordenó y analizó como se describe en las siguientes fases de la investigación.

3.3.2. Fase 2. Desarrollo de la investigación

Durante el desarrollo de la investigación se procedió a ordenar la información y simplificarla, de manera que las líneas de información de órdenes de trabajo pudieran ser visualizadas de manera sencilla a través de gráficas y

tablas. Extrayendo de esta manera la cantidad de órdenes de trabajo mensual generadas por la organización, cotejar las órdenes de trabajo con la información obtenida en las diferentes tablas de datos, utilizando como campo clave el número de orden de trabajo.

Teniendo el número de órdenes de trabajo generadas por mes, se procedió a distribuir estas órdenes de trabajo por tipo, es decir, si pertenecen a mantenimiento preventivo, correctivo, proyectos, entre otras. Esto con el fin de utilizar únicamente las órdenes de tipo correctivo, ya que estas órdenes son generadas por fallas en los equipos. Estas órdenes de trabajo se segmentaron por el estado en el cual se encuentran, es decir, si están abiertas, cerradas o esperando aprobaciones. Ya que las órdenes de trabajo responden al sistema de gestión de la organización y a un flujo de aprobaciones para ejecución y cierre.

Para las órdenes de trabajo de tipo correctivo, se analizaron los códigos de cierre, específicamente el código de falla, lo cual permitió visualizar su frecuencia, en que activos críticos se presentan y cuál es el tiempo entre falla para los activos catalogados como críticos.

Como parte del desarrollo se obtuvo información relevante de la organización, como la cantidad de activos, sistemas, posiciones y piezas que están bajo la administración de la organización. Con los datos de la segmentación y estratificación se realizó un ordenamiento mediante tablas dinámicas, relaciones de tablas con campos clave para obtener la información integrada, con el orden de datos, análisis y cálculos se obtuvieron los resultados propuestos.

3.3.3. Fase 3. Resultados y análisis de resultados

Este análisis se desarrolló con base a la información obtenida a través de los gráficos y tablas de datos ordenados a partir de datos crudos, se realizó un análisis basado en los objetivos de la investigación, encontrando los resultados en la organización piloto para a partir de ellos, generar una propuesta de evaluación estándar, que pueda utilizarse para realizar la evaluación del mantenimiento para determinar las fallas que afectan a los activos críticos, el impacto que tienen en tiempo y estimar los costos en los que se ha incurrido por no tomar acciones preventivas.

3.4. Técnicas de análisis

Para el desarrollo de la investigación se utilizaron diversos métodos para obtener los resultados con base en los objetivos. Para la contextualización del proceso de vida de una orden, se utilizaron los diagramas de flujo, que contribuyeron en la representación gráfica. Para el desarrollo de la investigación se empleó el muestreo estratificado, para agrupar datos comunes en subfamilias por factores comunes, aplicado a los tipos de mantenimiento, criticidad de activos y modo de falla.

Para estratificar las órdenes del periodo de tiempo seleccionado, previamente se realizó un análisis de series temporales, ya que la base de datos contiene las órdenes ejecutadas desde la existencia de la organización en sistema, por lo que fue necesario extraer un periodo de tiempo en concreto para su análisis. En la identificación de las fallas y su efecto se utilizó el diagrama de Ishikawa o de causa y efecto para mostrar de manera gráfica la representación de datos cualitativos.

Por último, para la identificación de datos cuantitativos se utilizó el análisis estadístico, ya que la información necesaria para obtener los resultados se encontraba en diversas tablas de información, para el ordenamiento de datos se utilizó la unión de tablas relacionadas a través de campos clave, las subconsultas para extraer los datos de la tabla maestra por medio de tablas secundarias y la estadística de descriptiva para agrupar la ocurrencia de eventos descriptivos en frecuencias numéricas para determinar costos y tiempos de paro.

4. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Para la presentación de la propuesta de evaluación del mantenimiento industrial y análisis estadístico de fallas para tratar la disminución en la disponibilidad de activos críticos para el proceso productivo, se analizaron las órdenes de trabajo de una empresa dedicada a la generación de energía eólica, como organización piloto para la elaboración de la propuesta.

Se tomó la información referente a las órdenes de trabajo realizadas por la organización en un periodo de tiempo de un año, de junio de 2022 a junio 2023, obteniendo de acuerdo a los objetivos los siguientes resultados:

4.1. Objetivo 1: identificar las principales fallas que afectan los tiempos de funcionamiento de los activos críticos para el proceso productivo a través del análisis de fallas

En este objetivo se tomó la base de datos de la organización de órdenes de mantenimiento generadas durante la ventana de tiempo de un año, siendo estas 1434 órdenes de trabajo generadas de junio 2022 a junio 2023.

Para conocer las fallas que afectan a los activos críticos se obtuvo la lista de activos críticos principales de la organización, principalmente la jerarquización de un aerogenerador, esta lista es una descripción general de los activos y sistemas integrados en la base de producción de la organización, en este caso, energía eléctrica, por términos de confidencialidad de la organización, no se muestran los nombres y sus codificaciones reales, sin embargo, se da una idea

clara de su sistema de jerarquización, la cual se describe en la tabla mostrada a continuación:

Tabla 2.

Sistema de Jerarquización de activos planta piloto

Identificador	Descripción
Sistema	PLANTA GENERADORA
Sistema	AEROGENERADOR
Sistema	TORRE DEL AEROGENERADOR
Activo	CABLES (SISTEMA)
Activo	CABLES DE MEDIA TENSIÓN
Activo	CABLES DE FIBRA OPTICA
Activo	ESCALERA
Activo	LÍNEA DE VIDA
Activo	ILUMINACIÓN
Activo	ASCENSOR
Sistema	GÓNDOLA DEL AEROGENERADOR
Activo	SISTEMA DE TRAYECTORIA
Activo	MOTORREDUCTORAS DEL SISTEMA DE TRAYECTORIA
Activo	MOTOR DE MOTORREDUCTORAS
Activo	ANILLO DEL SISTEMA DE TRAYECTORIA
Activo	FRENOS DEL SISTEMA DE TRAYECTORIA
Activo	SENSORES DEL SISTEMA DE TRAYECTORIA
Activo	MULTIPLICADORA
Activo	SISTEMA DE LUBRICACIÓN
Activo	BOMBA MECÁNICA DEL SISTEMA
Activo	BOMBA ELÉCTRICA DEL SISTEMA
Activo	BLOQUE DE VÁLVULAS DEL SISTEMA
Activo	BOMBA FUERA DE LINEA DEL SISTEMA
Activo	SISTEMA DE ENFRIAMIENTO
Activo	RADIADORES
Activo	MOTOVENTILADORES

Continuación de la tabla 2.

Identificador	Descripción
Activo	JUNTA ROTATIVA
Activo	ACOPLAMIENTOS
Activo	FRENO DE LA MULTIPLICADORA
Activo	GENERADOR
Activo	ROTOR DEL GENERADOR
Activo	ESTATOR DEL GENERADOR
Activo	VENTILADORES DEL GENERADOR
Activo	MOTORES DEL VENTILADOR
Activo	LUBRICADORES DEL GENERADOR
Activo	CUERPO DE ANILLOS DEL GENERADOR
Activo	VENTILADOR DEL CUERPO DE ANILLOS
Activo	EJE PRINCIPAL
Activo	RODAMIENTO DE EJE DEL ROTOR
Activo	SISTEMA DE BLOQUEO DE EJE
Activo	RODAMIENTO DE EJE DE MULTIPLICADORA
Activo	TRANSFORMADOR
Activo	MOTOVENTILADORES
Activo	SISTEMA HIDRÁULICO
Activo	UNIDAD HIDRÁULICA
Activo	BOMBA ELÉCTRICA DEL SISTEMA
Activo	ACUMULADOR PRINCIPAL
Activo	ACUMULADOR DE FRENO
Activo	CIRCUITO HIDRÁULICO
Activo	BLOQUE DE FRENO
Activo	SISTEMA DE ORIENTACIÓN DE VIENTO (YAW)
Activo	SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE UNIDAD
Activo	MONITOREO DE VIBRACIONES
Activo	POLIPASTO
Activo	ARMARIO
Activo	MODULO DE POTENCIA

Continuación de la tabla 2.

Identificador	Descripción
Activo	MODULO DE CONTROL
Activo	CONVERTIDOR
Activo	SISTEMA DE REFRIGERACIÓN
Sistema	CELDA MEDIA TENSIÓN TRANSFORMADOR
Sistema	ROTOR DEL AEROGENERADOR
Activo	EJE DE LAS ASPAS DEL ROTOR (HUB)
Activo	CILINDROS DE PITCH
Activo	RODAMIENTOS DE EJE
Activo	BLOQUE DE PITCH
Activo	ACUMULADORES DE ASPA
Activo	CUBIERTA DE EJE
Activo	ARMARIO DE CONTROL
Activo	TANQUE DE FUGA
Activo	ASPAS DEL AEROGENERADOR
Activo	SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS
Sistema	GABINETE DEL AEROGENERADOR
Activo	SISTEMA DE CONTROL
Activo	PLC DEL SISTEMA DE CONTROL
Activo	MODULOS DEL PLC
Activo	SENSORES DEL SISTEMA DE CONTROL
Activo	VELETAS
Activo	ANEMOMETROS
Activo	SISEMA DE COMUNICACIÓN
Activo	CABLEADO DEL SISTEMA
Activo	CONVERTIDOR A MEDIA DEL SISTEMA
Activo	SWITCH DE TIERRA DEL SISTEMA
Sistema	CELDA MEDIA TENSIÓN AUXILIAR

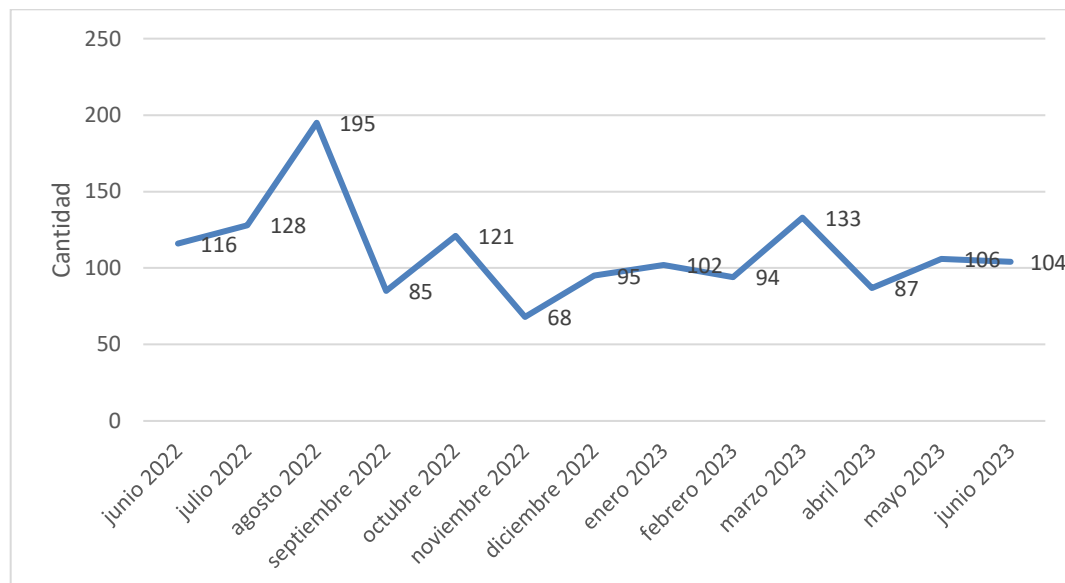
Nota. Tabla de sistema de jerarquización de los activos críticos de la unidad base de generación de la planta. Elaboración propia, realizado con Excel.

La tabla anterior se obtiene de la interpretación de la escala de jerarquía obtenida a través de los datos, en esta se muestra el orden descriptivo de la importancia de los activos dentro de la organización, esta estructura de información es relevante para la investigación debido a que se desea conocer únicamente las fallas que afectan a estos activos críticos, como se mencionó anteriormente, la descripción de estos activos críticos como su codificación es genérica, sin embargo, no altera su significado ni relevancia para la investigación.

De las 1434 órdenes de trabajo obtenidas, se realizó una tabla para ordenar los datos y poder visualizar de manera resumida el desglose de las órdenes de trabajo generadas por la organización cada mes, obteniendo como resultado la siguiente gráfica:

Figura 9.

Gráfico de OT generadas por mes



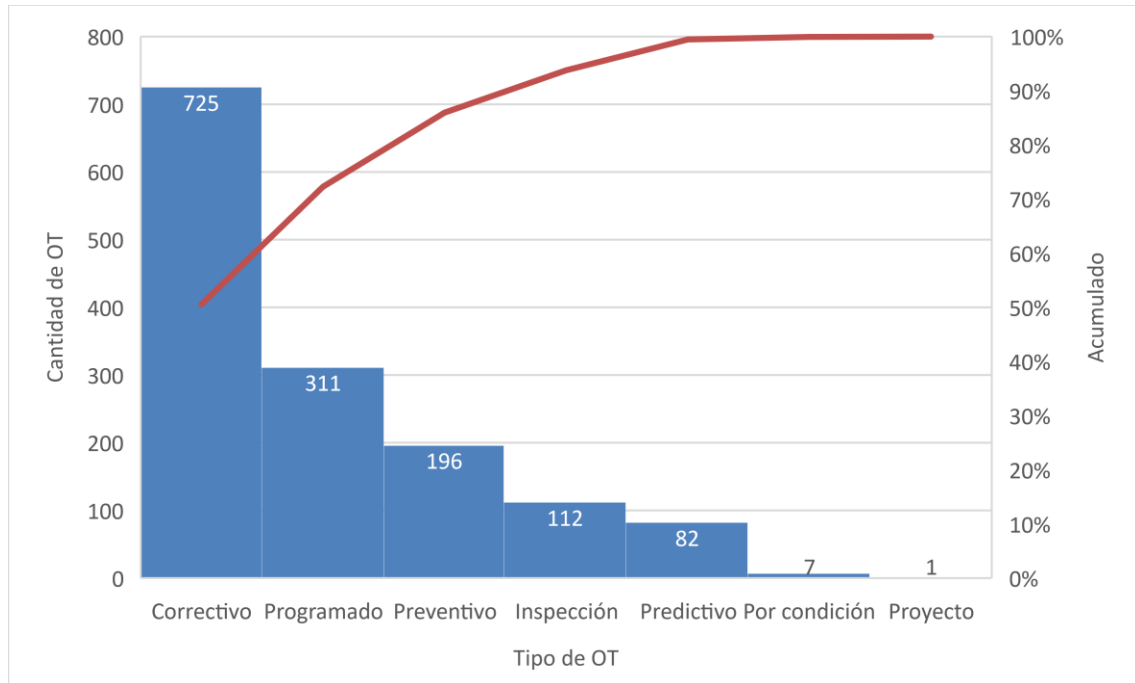
Nota. Cantidad de órdenes de trabajo generadas por la organización por mes. Elaboración propia, realizado con Excel.

El gráfico anterior se genera desde la estratificación de los datos, agrupándolos en segmentos mensuales de órdenes de mantenimiento, cómo podemos observar del total de órdenes, aumenta significativamente el número de trabajos realizados en los meses de julio 2022 y marzo de 2023, esto puede deberse a que durante estos meses se tienen periodos de tiempo en que los aerogeneradores no operan debido al aumento de viento, también llamadas ventanas de viento, que se utilizan para realizar mantenimientos preventivos mientras las máquinas están detenidas o al aumento de fallas en las máquinas.

para identificar de mejor manera las causas, o fallas que dan origen a la disminución de la disponibilidad de los activos, se realizó la segmentación de datos por tipo de orden de trabajo, es decir, la cantidad de órdenes de trabajo por tipo de mantenimiento, para encontrar las órdenes de mantenimiento correctivo que son originadas por fallas en los equipos o activos, dando como resultado la siguiente gráfica:

Figura 10.

Gráfico de OT de distribución por tipo



Nota. Distribución de órdenes de trabajo por tipo de mantenimiento del total de órdenes de trabajo. Elaboración propia, realizado con Excel.

Al realizar la segmentación a través de interrelación de tablas, obtenemos los tipos de órdenes de trabajo que ejecuta el departamento de mantenimiento, el cual se ordenó por medio de herramientas informáticas y tablas dinámicas dando como resultado la gráfica anterior, la cual nos indica que, del total de órdenes de trabajo, el 50.6 %, que equivalen a 725 órdenes de trabajo, son de mantenimiento correctivo, es decir que más de la mitad de las órdenes generadas por la organización son producto de fallas presentadas en los equipos.

De este nuevo segmento de órdenes de trabajo bajo el tipo Mantenimiento Correctivo, se procedió a encontrar las fallas reportadas en las órdenes de

trabajo, es decir, si en la orden de trabajo reportada bajo el tipo mantenimiento preventivo, no se colocó la falla que dio origen al problema reportado, debido a que se está realizando una acción de prevención de las mismas, caso contrario a las órdenes de trabajo preventivas. Se procedió a descartar las órdenes de trabajo bajo otro concepto que no se correctivo, ya que no genera información valiosa para el análisis del mismo, dando como resultado 100 órdenes de trabajo sin código de falla reportado. Por lo que, del total de 725 órdenes de trabajo generadas por mantenimiento correctivo, se analizaron únicamente 625 órdenes.

Para realizar el análisis de las fallas más frecuentes, se tomaron las 625 órdenes de trabajo con reporte de fallas, en estas 625 órdenes de trabajo se reportaron 69 fallas, es decir cada una de estas fallas se presenta con cierta frecuencia en los equipos por lo cual se procedió a determinar las fallas por orden de ocurrencia e impacto, tomando únicamente las más representativas. Las fallas con mayor frecuencia se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 3.

Fallas más frecuentes en los activos críticos

Código de falla	Descripción del código	Frecuencia	Porcentaje	% acumulado
XXXX0142	Fuga en el circuito hidráulico	132	21.12 %	21.12 %
XXXX0108	Problemas en el módulo	46	7.36 %	28.48 %
XXXX0102	Lectura errónea de indicador	34	5.44 %	33.92 %
XXXX0132	Problema de red	30	4.80 %	38.72 %
XXXX0165	Problema en válvula proporcional	30	4.80 %	43.52 %
XXXX0157	Falla en junta rotativa	28	4.48 %	48.00 %

Continuación de la tabla 3.

Código de falla	Descripción del código	Frecuencia	Porcentaje	% acumulado
XXXX0172	Pala con problemas	26	4.16 %	52.16 %

Nota. Fallas más frecuentes en los activos reportadas en las órdenes de trabajo. Elaboración propia, realizado con Excel.

Con las órdenes de trabajo de mantenimiento de tipo correctivo, se contabilizaron las fallas contenidas en las órdenes de trabajo, se encontraron los registros duplicados de cada código de falla y se incluyeron en la frecuencia. De este total de registros se determinó el porcentaje que representan del total de códigos de falla encontrados y su representación en acumulados, tomando los siete códigos de falla que representan el 52 % del total y se descartaron los códigos siguientes por su baja frecuencia y porcentaje no significativo del total.

De esta manera con la tabla anterior podemos determinar que las fallas presentadas son las que se presentan con mayor frecuencia en los reportes de fallas realizados a través de órdenes de trabajo. Si bien estas fallas encontradas para la organización piloto no son las mismas para todas las organizaciones, ya que pueden variar según la gestión de mantenimiento, actividad productiva, entre otros, si nos brinda la directriz para poder encontrar en las fallas más frecuentes independientemente del sector productivo, siguiendo los lineamientos anteriormente mencionados.

También es importante analizar los equipos en los cuales se identifican las fallas más frecuentes. Se realizó la siguiente gráfica para encontrar en qué activos críticos se presenta la falla más frecuente encontrada, es decir, la fuga en el circuito hidráulico, obteniendo la siguiente tabla:

Tabla 4.*Equipos críticos por falla XXXX0142*

Equipo / activo	Descripción del activo	Frecuencia	Criticidad
XXXXX-0008	SISTEMA HIDRAULICO 0008	14	Alta
XXXXX-0020	SISTEMA HIDRAULICO 0020	10	Alta
XXXXX-0006	SISTEMA HIDRAULICO 0006	9	Alta
XXXXX-0002	CIRCUITO HIDRAULICO 0002	8	Alta
XXXXX-0011	SISTEMA HIDRAULICO 0011	8	Alta
XXXXX-0008	CIRCUITO HIDRAULICO 0008	7	Alta
XXXXX-0017	SISTEMA HIDRAULICO 0017	7	Alta
XXXXX-0011	CIRCUITO HIDRAULICO 0011	6	Alta
XXXXX-0020	CIRCUITO HIDRAULICO 0020	5	Alta
XXXXX-0002	SISTEMA HIDRAULICO 0002	5	Alta

Nota. Equipos donde se presenta más frecuentemente el fallo XXXX0142 Fuga en el circuito Hidráulico. Elaboración propia, realizado con Excel.

Para cada una de las fallas se determinó haciendo un cotejo de registros de la tabla de órdenes de trabajo y el código de equipos, cuáles de los equipos incluidos en la orden de trabajo eran críticos para el sistema, de los activos críticos se procedió a determinar el número de órdenes de trabajo de acción correctiva aparecían para el mismo equipo en el tiempo determinado del estudio, llamándolo frecuencia. Para la determinación del modo y efectos que tienen las fallas también es importante resaltar que las fugas en circuito hidráulico no se dan únicamente en el sistema llamado circuito hidráulico, sino que afectan al sistema hidráulico presentándose con mayor frecuencia, para mitigar la ocurrencia de esta falla se deben realizar inspecciones periódicas de fugas en los circuitos y sistemas hidráulicos, integrando estas inspecciones en el plan de mantenimiento anual de la organización.

De la misma manera se analizó la falla que indica problemas en el módulo, obteniendo la siguiente tabla de activos más frecuentes con la falla, la cual se presenta a continuación:

Tabla 5.

Equipos críticos por falla XXXX0108

Equipo / activo	Descripción del activo	Frecuencia	Criticidad
XXXXX-0025	ARMARIO TOP 0025	3	Alta
XXXXX-0007	MULTIPLICADORA 0002	3	Alta
XXXXX-0026	MULTIPLICADORA 0023	3	Alta
XXXXX-0017	ARMARIO TOP 0017	2	Alta
XXXXX-9225	GENERADOR 0013	2	Alta

Nota. Equipos donde se presenta más frecuentemente el fallo XXXX0108 Problemas en el módulo. Elaboración propia, realizado con Excel.

Los fallos presentados con más frecuencia están afectando equipos críticos, en este caso, uno de los fallos más frecuentes está afectando la multiplicadora de un aerogenerador, la cual es la encargada de convertir la rotación baja velocidad del aspa de un aerogenerador a alta, como parte del proceso de generación de energía.

Dado que, para los aerogeneradores, por su tamaño y dificultad para realizar inspecciones visuales a nivel de suelo, es muy importante contar con la información actualizada en tiempo real de sus sensores y lecturas comprobables, cuenta con un sistema de lectores de indicadores, que miden el desempeño de los equipos, por lo cual, se analizó para que equipos se presenta el error XXXX0102 asociado a las lecturas erróneas de indicador, obteniendo la siguiente tabla:

Tabla 6.*Equipos críticos por falla XXXX0102*

Equipo / activo	Descripción del activo	Frecuencia	Criticidad
XXXXX-0009	SISTEMA HIDRAULICO 0009	4	Alta
XXXXX-0022	ARMARIO TOP 0022	2	Alta
XXXXX-0013	SISTEMA HIDRAULICO 0013	2	Alta
XXXXX-0024	SISTEMA HIDRAULICO 0024	2	Alta
XXXXX-0021	BLOQUE A DE PITCH 0021	1	Alta
XXXXX-0025	BLOQUE A DE PITCH 0025	1	Alta
XXXXX-0001	BLOQUE DE YAW 0001	1	Alta
XXXXX-0001	BLOQUE DE FRENO 0001	1	Alta
XXXXX-0002	CIRCUITO HIDRAULICO 0002	1	Alta
XXXXX-0015	CIRCUITO HIDRAULICO 0015	1	Alta

Nota. Equipos donde se presenta más frecuentemente el fallo XXXX0102 Lectura errónea del indicador. Elaboración propia, realizado con Excel.

Posterior a contabilizar los registros asociados y asignados a los activos críticos de la aparición de la falla asociada a la lectura errónea del medidor, se tomaron las frecuencias más representativas y se descartaron los activos siguientes, siendo estos el mismo activo de distinto aerogenerador. Según los resultados obtenidos, los fallos principales se presentan en los activos críticos, la mayor parte, asociados a los sistemas hidráulicos del aerogenerador y el bloque de pitch, encargado del posicionamiento de las palas o aspas, críticas para el movimiento del rotor, esta falla está asociada a la falla XXXX0132, que hace referencia a un problema de red para ejecutar de manera correcta la comunicación de indicadores, siendo para este error los activos más frecuentes:

Tabla 7.*Equipos críticos por falla XXXX0132*

Equipo / activo	Descripción del activo	Frecuencia	Criticidad
XXXXX-3111	Transformador 0008	3	Alta
XXXXX -0006	Celda media tensión transformador 0006	2	Alta
XXXXX -0191	Convertidor 0010	2	Alta
XXXXX -3102	Transformador 0025	2	Alta
XXXXX -3123	Transformador 0011	2	Alta
XXXXX -0009	Aerogenerador 0009	2	Alta
XXXXX -0005	Armario top 0005	1	Alta
XXXXX -0006	Armario top 0006	1	Alta
XXXXX -0009	Circuito hidráulico 0009	1	Alta
CMT-0002	Celda media tensión transformador 0002	1	Alta

Nota. Equipos donde se presenta más frecuentemente el fallo XXXX0132 Problema de red. Elaboración propia, realizado con Excel.

Esta falla como se puede observar se da con mayor frecuencia en equipos donde la calidad de red es baja, debido a la distancia respecto a la fuente de señal o la cantidad de materiales aislantes donde se encuentra ubicada, para los fallos de la válvula proporcional, o error XXXX0165, se tienen los siguientes datos:

Tabla 8.*Equipos críticos por falla XXXX0165*

Equipo / activo	Descripción del activo	Frecuencia	Criticidad
XXXXX-0001	Bloque a de pitch 0001	3	Alta
XXXXX-0007	Bloque a de pitch 0007	2	Alta

Continuación de la tabla 7.

Equipo / activo	Descripción del activo	Frecuencia	Criticidad
XXXXX-0012	Bloque a de pitch 0012	2	Alta
XXXXX-0013	Bloque a de pitch 0013	2	Alta
XXXXX-0021	Bloque a de pitch 0021	2	Alta
XXXXX-0005	Bloque a de pitch 0005	1	Alta
XXXXX-0008	Bloque a de pitch 0008	1	Alta
XXXXX-0009	Bloque a de pitch 0009	1	Alta
XXXXX-0011	Bloque a de pitch 0011	1	Alta
XXXXX-0015	Bloque a de pitch 0015	1	Alta

Nota. Equipos donde se presenta más frecuentemente el fallo XXXX0165 Problema en válvula proporcional. Elaboración propia, realizado con Excel.

El fallo de la válvula proporcional es frecuente en el bloque de pitch, que es el encargado de regular la potencia y la posición del sistema rotor respecto al viento, es decir, de alta criticidad para un funcionamiento óptimo del aerogenerador.

Para la falla en la junta rotativa XXXX0157, se encuentra presente en los siguientes activos críticos:

Tabla 9.

Equipos críticos por falla XXXX0157

Equipo / activo	Descripción del activo	Frecuencia	Criticidad
XXXXX-0025	Junta rotativa 0025	6	Alta
XXXXX-0002	Armario top 0002	3	Alta
XXXXX-0003	Armario top 0002	2	Alta
XXXXX-0006	Armario top 0006	1	Alta
XXXXX-0007	Armario top 0007	1	Alta

Continuación de la tabla 9.

Equipo / activo	Descripción del activo	Frecuencia	Criticidad
XXXXX-0011	Armario top 0011	1	Alta
XXXXX-0025	Armario top 0025	1	Alta
XXXXX-0011	Bloque a de pitch 0011	1	Alta
XXXXX-0018	Bloque a de pitch 0018	1	Alta
XXXXX-0124	Convertidor 0002	1	Alta

Nota. Equipos donde se presenta más frecuentemente el fallo XXXX0157 Falla en junta rotativa. Elaboración propia, realizado con Excel.

Este fallo es específico del activo crítico junta rotativa, sin embargo, puede reportarse por afectaciones en un equipo aledaño o un equipo superior en orden jerárquico, como lo vemos en el cuadro anterior, de la misma manera sucede con la falla XXXX0172 orientado a problema con las palas del aerogenerador.

Tabla 10.

Equipos críticos por falla XXXX0172

Equipo / activo	Descripción del activo	Frecuencia	Criticidad
XXXXX-0012	Bloque a de pitch 0012	7	Alta
XXXXX-0001	Bloque a de pitch 0001	4	Alta
XXXXX-0023	Bloque a de pitch 0023	3	Alta
XXXXX-0009	Bloque a de pitch 0009	2	Alta
XXXXX-0021	Bloque a de pitch 0021	2	Alta
XXXXX-0009	Bloque b de pitch 0009	2	Alta
XXXXX-0023	Bloque b de pitch 0023	1	Alta
XXXXX-0012	Hub de rotor 0012	1	Alta
XXXXX-0023	Hub de rotor 0023	1	Alta

Continuación de la tabla 10.

Equipo / activo	Descripción del activo	Frecuencia	Criticidad
XXXXX-0001	Rotor de aerogenerador 0001	1	Alta

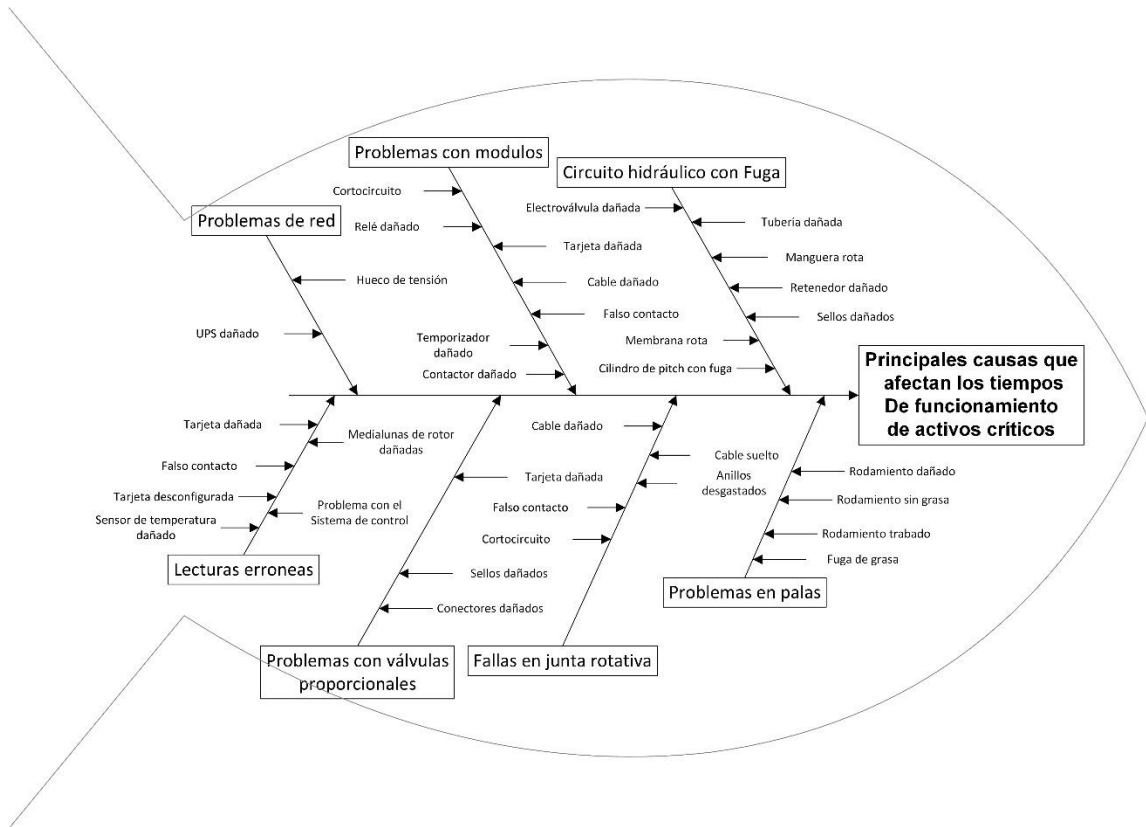
Nota. Equipos donde se presenta más frecuentemente el fallo XXXX0172 Pala con problemas. Elaboración propia, realizado con Excel.

Por último, se tienen los activos críticos presentes con la falla de problemas con la pala, obteniéndola de la segmentación, clasificación y descarte de las órdenes de trabajo, como se puede observar en la tabla, los fallos en las palas o aspas, no se pueden limitar al estado físico de las palas, pueden significar repercusiones en equipos aledaños o el sistema general del eje, allí radica la importancia de conocer los activos que afectan las fallas más comunes

Se realizó un análisis de causa y efecto, mejor conocido como Ishikawa o diagrama de pescado, para identificar gráficamente las principales fallas que afectan los tiempos de funcionamiento de los activos críticos para el proceso productivo y las posibles causas que generan los fallos identificados, la gráfica realizada se muestra a continuación:

Figura 11.

Diagrama de causa y efecto de fallas



Nota. Diagrama Ishikawa o diagrama de causa y efecto con las principales fallas que afectan los equipos críticos y sus principales causas. Elaboración propia, realizado con Excel.

Con el primer objetivo específico se procedió a elaborar el diagrama de causa y efecto, mejor conocido como Ishikawa, se tomó el objetivo como problema inicial identificando como las causas principales las fallas encontradas y analizando las órdenes generadas para encontrar posibles causas de averías, se determinaron las causas principales que afectan los tiempos de funcionamiento de los activos en su clasificación crítica, las fallas más frecuentes son producto de un número mayor de causas, estas deben controlarse y mitigarse

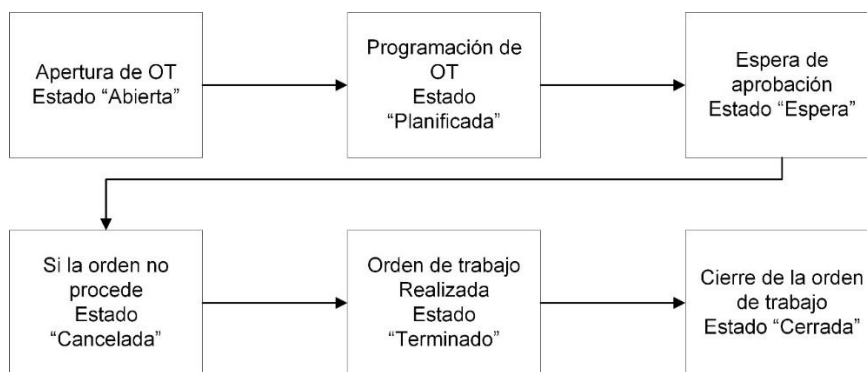
usando la implementación de planes de mantenimiento de prevención o preventivos como inspecciones, no conformidades o solicitudes de trabajo.

4.2. **Objetivo 2: establecer el impacto que tienen los paros no programados de activos en la gestión de mantenimiento respecto al tiempo de intervención y tiempo promedio de ocurrencia**

Para establecer el impacto que tiene los paros no programados debido a las fallas, se analizaron dos tiempos de alta importancia en el proceso, el tiempo de restablecimiento del equipo, que se mide desde que el equipo entra en fallo, hasta que el equipo se restablece a su funcionamiento normal y el tiempo de frecuencia, es decir a partir de la fecha que se cerró la falla o inconveniente, cuánto tiempo transcurre para que el mismo equipo vuelva a presentar la falla.

Figura 12.

Flujograma de aprobación de órdenes de trabajo



Nota. Flujograma de ciclo de aprobación para órdenes de trabajo. Elaboración propia, realizado con Excel.

Para determinar estos tiempos se analizaron las órdenes de trabajo correspondientes al mantenimiento correctivo según su diagrama de flujo de

proceso presentado, acorde al sistema de gestión de la organización, este flujo de proceso de la orden de trabajo nos brinda la línea de proceso que llevan las órdenes de trabajo desde que se origina hasta que se cierra por el supervisor o encargado de mantenimiento. Este proceso se muestra a continuación:

Se determinaron los estados en los cuales se encuentran las órdenes de trabajo para poder determinar el impacto de tiempo que tienen las fallas sobre la producción, para esto se agruparon las órdenes de trabajo por estado según el flujo anterior, los resultados se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 11.

Cantidad de OT por estado de OT

Estado de orden de trabajo	Cantidad de OT
Cerrada	645
Abierta	29
Cancelada	24
Terminado	24
Espera	2
Planificada	1
Total, de órdenes de trabajo	725

Nota. Cantidad de órdenes de trabajo por estado de orden de trabajo según flujograma. Elaboración propia, realizado con Excel.

Para realizar el análisis de tiempos de las órdenes de trabajo, únicamente se tomaron en cuenta las órdenes de trabajo en estado cerrada, realizando un conteo de frecuencia para las órdenes de trabajo, debido a que se las órdenes canceladas, son órdenes que contienen errores y se descartaron por diferentes motivos, las órdenes abiertas, son órdenes de trabajo recientes que no han concluido el proceso de ejecución, las órdenes de trabajo en estado terminado,

aún no concluyen su proceso de cierre, por lo que no nos brinda información sobre las fallas y las órdenes de trabajo en estado planificada se encuentran en espera de su ejecución. Para este análisis se tomaron en cuenta únicamente las órdenes que concluyeron el proceso de ejecución y que cuentan con códigos de falla frecuentes.

Para determinar las horas de tiempo de fallo se analizó la información de las órdenes de trabajo para el fallo más frecuente, el resumen de la tabla se muestra a continuación:

Tabla 12.

Muestra de paros por falla XXXX0142

No. OT	Descripción	Estado	Equipo	Tiempo de paro (horas)
212841	205 bajo nivel de aceite del grupo hidráulico	Cerrada	XXXXX-0007	4
205009	205 bajo nivel de aceite del grupo hidráulico	Cerrada	XXXXX-0008	4
208232	205 bajo nivel de aceite del grupo hidráulico	Cerrada	XXXXX-0020	4
208691	205 bajo nivel de aceite del grupo hidráulico	Cerrada	XXXXX-0004	4
209523	205 bajo nivel de aceite del grupo hidráulico	Cerrada	XXXXX-0017	4
209524	205 bajo nivel de aceite del grupo hidráulico	Cerrada	XXXXX-0020	4
209525	205 bajo nivel de aceite del grupo hidráulico	Cerrada	XXXXX-0002	4
209526	205 bajo nivel de aceite del grupo hidráulico	Cerrada	XXXXX-0001	4
209529	205 bajo nivel de aceite del grupo hidráulico	Cerrada	XXXXX-0021	4
209628	205 bajo nivel de aceite del grupo hidráulico	Cerrada	XXXXX-0008	4
209664	205 bajo nivel de aceite del grupo hidráulico	Cerrada	XXXXX-0025	4
210087	205 bajo nivel de aceite del grupo hidráulico	Cerrada	XXXXX-0008	4
211460	205 bajo nivel de aceite del grupo hidráulico	Cerrada	XXXXX-0012	4

Nota. Tabla de muestra de tiempo de paro en horas por activo crítico por fallo XXXX0142 Fuga en el circuito hidráulico. Elaboración propia, realizado con Excel.

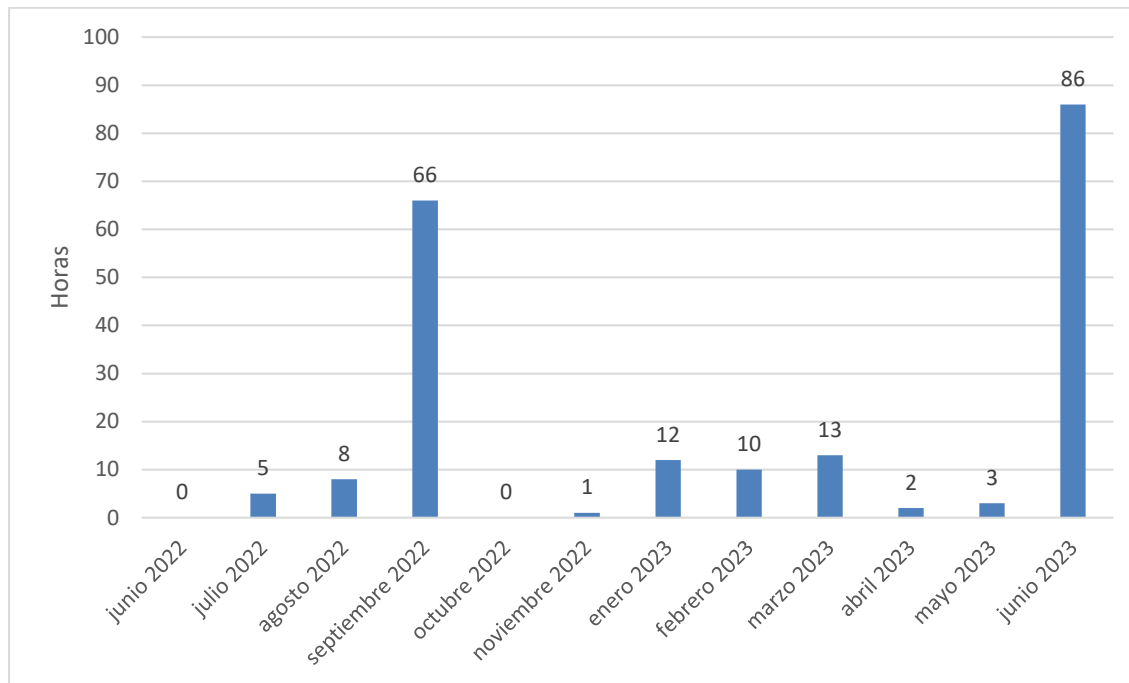
La tabla anterior se obtiene de la integración de dos tablas diferentes, la tabla de registro de las órdenes de trabajo y la tabla de registro de duración de paro de las órdenes de trabajo, se realizó la interrelación de las tablas por medio

de un campo clave, en este caso el número de la orden de trabajo, para buscar en los registros el tiempo de paro y presentarlo en una misma tabla. Con la integración anterior podemos visualizar que por bajo nivel de aceite el paro en horas para cada uno de los activos críticos descritos anteriormente como circuitos y sistemas hidráulicos es de cuatro horas, durante este tiempo el equipo será intervenido para realizar la nivelación. Para esta falla frecuente se obtuvo la frecuencia de ocurrencia, mediante la resta de la fecha de la última ocurrencia y la fecha de la ocurrencia inmediata anterior, con la cual para el mismo activo transcurren aproximadamente 48 días, sin embargo, para el tiempo medio de ocurrencia de esta falla es de 3 días, es decir cada 3 días el nivel del aceite del grupo hidráulico de algún activo crítico se baja.

Se realizó el mismo análisis para el tipo de fallo, problemas en el módulo, se realizó una gráfica para representar el tiempo que se detiene los equipos para restablecer su funcionamiento posterior a darse una de las fallas conocidas, las tablas de datos obtenidas como datos fríos únicamente se pueden interrelacionar a través de datos clave, para realizar dicho análisis se tomó el código de falla, filtrando para base de datos de órdenes de trabajo de tipo mantenimiento preventivo, agregando el filtro de fecha para poder segmentar la información en orden de fecha corta y distribuirla en el campo de sumatoria para que tome el número de órdenes de trabajo generadas. Para el código XXXX0108, que representa problemas en el módulo del aerogenerador, se obtuvieron los datos del tiempo de paro en horas por mes, para visualizar la cantidad total de horas de paro en el año, obteniendo la siguiente gráfica:

Figura 13.

Tiempo de paros por mes para falla XXXX0108



Nota. Tiempo de paro en horas por activos críticos por fallo XXXX0108 Problemas en el módulo. Elaboración propia, realizado con Excel.

La segmentación realizada a través de los campos clave nos permite aislar la frecuencia de aparición o de ocurrencia del código de falla y realizar una distribución por mes para visualizar de manera ordenada los datos obtenidos, cabe mencionar la complejidad de la tarea, debido a que la base de datos guarda en sus tablas por lo menos cinco tipos de fechas, la fecha de inicio programada, fecha de inicio de actividad, fecha de finalización programada, fecha de cierre de orden de trabajo, fecha de cambio de estado, entre otras. Las cuales se deben aislar y realizar el filtro adecuado para obtener los datos precisos.

Para la segunda falla más frecuente que afecta los activos críticos se tuvo un tiempo de paro de 206 horas, en el año, distribuidas por mes como se muestra a continuación, siendo los activos críticos más afectados por estos problemas los que se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 13.

Horas de paro por falla XXXX0108

OT	Descripción de OT	Desc. Equipo	Fecha	Tiempo de paro
195262	Fallo módulos PLC	ARMARIO TOP 0017	junio 2022	0
195330	Fallo módulos PLC	ARMARIO TOP 0017	junio 2022	0
198345	error comunicación PLC-Convertidor	ARMARIO TOP 0025	agosto 2022	1
200210	ventiladores multiplicadora activos	MULTIPLICADORA 0023	septiembre 2022	0
200298	Over speed generator	MULTIPLICADORA 0013	septiembre 2022	0
203533	ventiladores multiplicadora activos	MULTIPLICADORA 0023	noviembre 2022	1
207403	700 error comunicación PLC-Convertidor	ARMARIO TOP 0002	enero 2023	0
207528	Over speed generator	GENERADOR 0013	enero 2023	0
207581	Over speed generator	GENERADOR 0013	enero 2023	1
207615	sensor de vibraciones dañado	MULTIPLICADORA 0013	enero 2023	2
210209	Fallo módulos PLC	ARMARIO TOP 0025	marzo 2023	0
210260	Fallo módulos PLC	ARMARIO TOP 0025	marzo 2023	11
210323	baja presión multiplicadora	MULTIPLICADORA 0002	marzo 2023	0
211782	baja presión multiplicadora	MULTIPLICADORA 0002	abril 2023	0
211783	ventiladores multiplicadora activos	MULTIPLICADORA 0023	abril 2023	0
212634	baja presión multiplicadora	MULTIPLICADORA 0002	mayo 2023	0
212701	bajo nivel aceite multiplicadora	MULTIPLICADORA 0002	mayo 2023	1
213193	Fallo módulo medida de temperatura	MODULOS DE PLC 0023	junio 2023	0
213219	Fallo módulo medida de temperatura	MODULOS DE PLC 0023	junio 2023	0
213226	Error BUS- Fallo interbus	ARMARIO TOP 0002	junio 2023	86

Nota. Tabla de horas de paro de equipos críticos por falla XXXX018 Problemas en módulo. Elaboración propia, realizado con Excel.

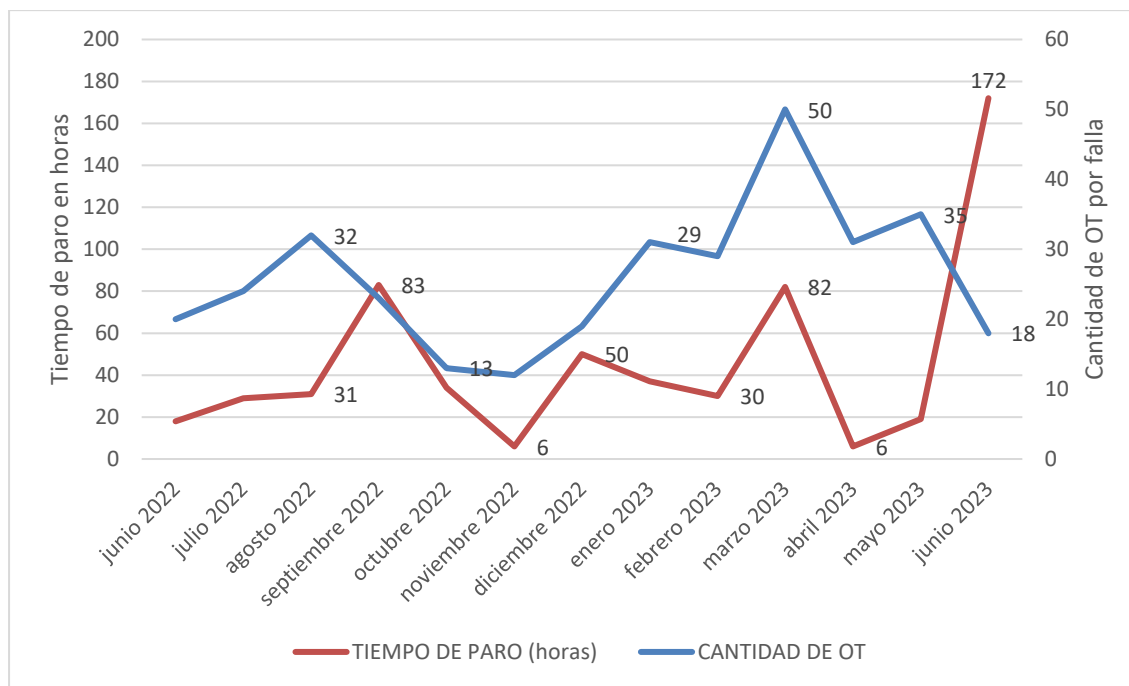
En la siguiente tabla se muestra los activos críticos que fueron afectados por el error XXXX0108, se puede observar que algunas órdenes de trabajo reportan cero horas de paro, esto debido a que la falla puede restablecerse sin

necesidad de que la máquina entre en paro, sin embargo, esto no significa que las intervenciones realizadas al equipo no tengan costos de reparación.

De la misma manera se realizó el análisis con los tipos de falla más frecuentes durante el año, obteniendo la siguiente tabla resumen para cada mes analizado:

Figura 14.

Cantidad de OT vs horas de paro por falla



Nota. Gráfico de cantidad de órdenes de trabajo realizadas por fallos más frecuentes y tiempo de paro de máquina. Elaboración propia, realizado con Excel.

Para la representación del gráfico anterior se tomó la tabla de la cantidad de órdenes de trabajo emitidas en el periodo para los siete tipos de fallos frecuentes y comparándolos con los tiempos registrados de paro en la tabla

analizada anteriormente, esto permitió obtener el gráfico anterior, donde se puede observar que las horas de paro de equipos críticos no es directamente proporcional al número de órdenes de trabajo generadas. A manera de resumen se realizó la siguiente tabla:

Tabla 14.

Paros y tiempo medio entre fallas

Código de falla	Descripción de falla	Cantidad de OT	Tiempo de paro (horas)	Tiempo medio entre fallas (días)
XXXX0102	Lectura errónea de indicador	36	40	10
XXXX0108	Problemas en el módulo	51	206	7
XXXX0132	Problema de red	31	38	12
XXXX0142	Circuito hidráulico con fuga	132	116	3
XXXX0157	Falla en junta rotativa	29	18	12
XXXX0165	Problema en válvula proporcional	30	51	12
XXXX0172	Pala con problemas	28	128	13

Nota. Tabla resumen de tiempo de paros y tiempo medio entre fallas para las fallas más frecuentes que afectan la disponibilidad de los activos críticos. Elaboración propia, realizado con Excel.

Para los códigos de falla se realizó una búsqueda en las tablas segmentadas y estratificadas anteriormente y se formuló la obtención del tiempo medio entre fallas, tomando la fecha más reciente, menos la fecha inmediata anterior a la ocurrencia de la falla, para cada una de estas, luego se obtuvo el promedio de tiempo entre la ocurrencia de las fallas, las cuales se muestran en días, así podemos observar el tiempo de paro en horas que tuvo durante el

periodo, de junio 2022 a junio 23, y su tiempo medio entre fallas contado en días desde que se cierra la orden de trabajo y se vuelve a abrir

4.3. Objetivo 3: estimar el impacto económico que tiene la disminución de disponibilidad de los activos críticos en la empresa respecto a el costo de mano de obra y materiales utilizados en corregir las fallas

Para calcular el impacto económico en términos de costos laborales debidos a fallos en equipos críticos, se examinaron las órdenes de trabajo originadas por las averías en estos equipos, y se evaluaron los gastos asociados a mano de obra y materiales registrados en dichas órdenes de trabajo.

Tabla 15.

Costos de OT tipo correctivas por mes

Fecha	Costo de MO	Costo de material
junio 2022	\$1,299.68	\$7,961.41
julio 2022	\$1,782.22	\$21,965.40
agosto 2022	\$2,258.42	\$20,004.24
septiembre 2022	\$1,474.78	\$5,703.89
octubre 2022	\$1,350.65	\$40,913.96
noviembre 2022	\$891.82	\$5,408.71
diciembre 2022	\$2,257.11	\$6,969.29
enero 2023	\$1,409.56	\$7,003.76
febrero 2023	\$1,438.79	\$23,325.77
marzo 2023	\$1,453.01	\$13,060.83
abril 2023	\$1,698.46	\$9,976.74
mayo 2023	\$1,086.74	\$12,854.56

Continuación de la tabla 15.

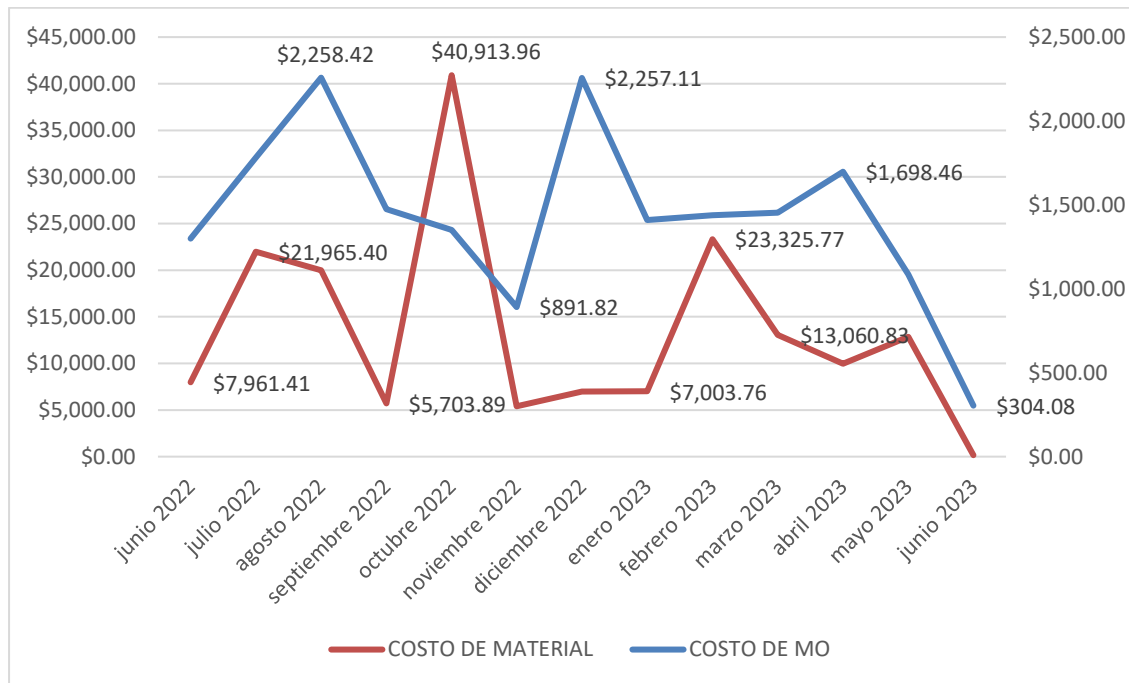
Fecha	Costo de MO	Costo de material
junio 2023	\$304.08	\$158.37
Total	\$ 18,705.32	\$ 175,306.93

Nota. Tabla de costos de órdenes de trabajo por mes por tipo de orden correctiva con falla. Elaboración propia, realizado con Excel.

Para la realizar la tabla anterior, se tomaron todos los datos de los costos asociados a costo de mano de obra, para todas las órdenes de trabajo generadas bajo el tipo mantenimiento correctivo, sin segmentar por los tipos de fallas más frecuentes, para obtener los costos de mano de obra se realizó la multiplicación de las horas reportadas por los técnicos por la tasa de hora del técnico, la tasa de hora normal y de hora extra, obteniendo los costos de Mano de obra y para obtener los costos de materiales se realizó la multiplicación del costo unitario de la pieza por la cantidad de piezas utilizadas reportadas en la órdenes de trabajo y luego realizando la suma de los costos por orden, ya que para cada una de las piezas el sistema de gestión lo toma como una transacción reportando una línea de información y finalmente representando los resultados obtenidos en la tabla anterior. De igual manera se realiza la representación gráfica siguiente:

Figura 15.

Gráfico de OT por mes de OT correctivas



Nota. Gráfico de costos de órdenes de trabajo por mes por tipo de orden correctiva con falla. Elaboración propia, realizado con Excel.

El gráfico anterior es una representación de la tabla 15, presentando en diferentes planos el costo de materiales y el costo de mano de obra, de igual manera, que las horas de paro y la cantidad de órdenes de trabajo, se puede observar que los costos de mano de obra y costos de material no son directamente proporcionales

El costo por intervención humana por órdenes de trabajo de corrección no es directamente proporcional al costo de materiales utilizados, esto se debe en gran parte al hecho de que los componentes empleados en la producción de energía eólica son de mayor valor por unidad y que para que se registre un costo

de mano de obra se debe contar con el reporte de las horas trabajadas por los técnicos, si un técnico olvida realizar el reporte de las horas trabajadas o el encargado de la administración de mantenimiento no tiene una tasa o valor de hora para el técnico en el sistema de gestión, se tendría una multiplicación por cero, la cual daría como consecuencia una pérdida de información, sin embargo, según los datos analizados la cantidad de horas no reportadas o tasas no válidas fue insignificante para la cantidad de órdenes de trabajo analizadas.

Para continuar realizando un análisis profundo y exhaustivo de las órdenes de trabajo se procedió a cuantificar los costos por equipo crítico, es decir, para cada uno de los activos críticos en las órdenes de trabajo, se realizó el cálculo del costo de mano de obra, como se expuso con anterioridad y la suma total del costo de material invertido para cada activo crítico excluyendo activos críticos repetidos en la siguiente tabla, ya que se agruparon los costos por activo, del total de costos se obtuvo la representación porcentual de cada uno de los activos críticos y por último su acumulado, esto con el fin de detectar información valiosa para el análisis.

Para los activos críticos se presentan los costos incurridos en el periodo de tiempo de un año para analizar su impacto respecto al total del costo de mantenimiento correctivo.

Tabla 16.

Costos totales por fallas en activos críticos

Equipo	Suma costo M.O. (USD\$)	Suma costo de material (USD\$)	Total	% del total	% acumulado
AEROGENERADOR 0003	\$155.00	\$17,275.21	\$17,430.21	24.40 %	24.40 %
BLOQUE A DE PITCH 0007	\$76.93	\$4,945.08	\$5,022.01	7.00 %	31.50 %
SISTEMA HIDRAULICO 0013	\$338.12	\$3,575.37	\$3,913.49	5.50 %	37.00 %
ARMARIO TOP 0007	\$66.36	\$3,341.70	\$3,408.06	4.80 %	41.70 %

Continuación de la tabla 16.

Equipo	Suma costo M.O. (USD\$)	Suma costo de material (USD\$)	Total	% del total	% acumulado
SISTEMA HIDRAULICO 0006	\$382.64	\$2,772.36	\$3,155.00	4.40 %	46.20 %
MULTIPLICADORA 0023	\$152.09	\$2,586.85	\$2,738.94	3.80 %	50.00 %
SISTEMA HIDRAULICO 0022	\$191.71	\$2,048.42	\$2,240.13	3.10 %	53.10 %
CIRCUITO HIDRAULICO 0020	\$181.34	\$1,840.84	\$2,022.18	2.80 %	56.00 %
BLOQUE A DE PITCH 0023	\$37.29	\$1,715.31	\$1,752.60	2.50 %	58.40 %
BLOQUE A DE PITCH 0018	\$68.42	\$1,663.50	\$1,731.92	2.40 %	60.90 %
ROTOR DE AEROGENERADOR 0011	\$34.71	\$1,507.70	\$1,542.41	2.20 %	63.00 %
ARMARIO TOP 0006	\$428.11	\$1,063.93	\$1,492.04	2.10 %	65.10 %
TRANSFORMADOR 0015	\$225.34	\$1,137.77	\$1,363.11	1.90 %	67.00 %
SISTEMA HIDRAULICO 0011	\$108.90	\$958.21	\$1,067.11	1.50 %	68.50 %
ROTOR DE AEROGENERADOR 0001	\$184.08	\$869.16	\$1,053.24	1.50 %	70.00 %
CIRCUITO HIDRAULICO 0009	\$64.09	\$908.74	\$972.83	1.40 %	71.40 %
BLOQUE A DE PITCH 0024	\$2.75	\$923.93	\$926.68	1.30 %	72.70 %
JUNTA ROTATIVA 0023	\$13.33	\$857.86	\$871.19	1.20 %	73.90 %
TRANSFORMADOR 0011	\$79.00	\$755.02	\$834.02	1.20 %	75.00 %
ROTOR DE AEROGENERADOR 0012	\$26.19	\$798.46	\$824.65	1.20 %	76.20 %
AEROGENERADOR 0018	\$6.04	\$798.46	\$804.50	1.10 %	77.30 %
SISTEMA HIDRAULICO 0025	\$100.64	\$665.79	\$766.43	1.10 %	78.40 %
AEROGENERADOR 0009	\$42.30	\$720.32	\$762.62	1.10 %	79.50 %
BLOQUE A DE PITCH 0021	\$154.03	\$604.31	\$758.34	1.10 %	80.50 %
SISTEMA HIDRAULICO 0020	\$157.70	\$443.34	\$601.04	0.80 %	81.40 %
SISTEMA HIDRAULICO 0024	\$142.18	\$413.03	\$555.21	0.80 %	82.20 %
TRANSFORMADOR 0025	\$79.80	\$455.51	\$535.31	0.80 %	82.90 %
SISTEMA HIDRAULICO 0004	\$44.09	\$489.83	\$533.92	0.70 %	83.70 %
SISTEMA HIDRAULICO 0008	\$426.08	\$60.70	\$486.78	0.70 %	84.30 %
BLOQUE A DE PITCH 0009	\$477.08	\$8.79	\$485.87	0.70 %	85.00 %
CONVERTIDOR 0017	\$34.17	\$449.79	\$483.96	0.70 %	85.70 %

Nota. Tabla de costos totales asociados a las fallas frecuentes de los activos críticos para el proceso productivo. Elaboración propia, realizado con Excel.

Como consecuencia del procedimiento explicado anteriormente para la obtención de la tabla, En esta, el dato que acumula el 80 % del total del costo por mano de obra y costo de materiales, resaltado en la tabla, se apega al principio de Pareto, aproximadamente el 80 % del costo total de mantenimiento por averías a los activos críticos proviene del 20 % del total de activos críticos afectados.

La tabla mostrada a continuación muestra a manera de resumen los costos incurridos durante el periodo analizado, junio 2022 a junio 2023, de los registros de trabajo a través de órdenes ejecutadas por las fallas más frecuentes que afectan los activos críticos.

Tabla 17.

Costos totales de M.O. y piezas por mes

Mes	Suma costo M.O. (USD\$)	Suma costo de material (USD\$)	Costo total
Junio 2022	\$619.74	\$709.32	\$1,329.06
Julio 2022	\$606.47	\$1,230.40	\$1,836.87
Agosto 2022	\$809.86	\$7,932.43	\$8,742.29
Septiembre 2022	\$825.98	\$1,682.94	\$2,508.92
Octubre 2022	\$352.68	\$20,353.20	\$20,705.88
Noviembre 2022	\$404.06	\$875.10	\$1,279.16
Diciembre 2022	\$780.41	\$1,726.10	\$2,506.51
Enero 2023	\$830.45	\$3,116.46	\$3,946.91
Febrero 2023	\$863.15	\$12,704.73	\$13,567.88
Marzo 2023	\$899.59	\$2,143.36	\$3,042.95
Abril 2023	\$1,053.58	\$4,976.11	\$6,029.69
Mayo 2023	\$541.10	\$4,986.84	\$5,527.94

Continuación de la tabla 17.

Mes	Suma costo M.O. (USD\$)	Suma costo de material (USD\$)	Costo total
Junio 2023	\$139.14	\$158.37	\$297.51
Totales	\$8,726.21	\$62,595.36	\$71,321.57

Nota. Tabla de costos totales de mano de obra y piezas asociados a las fallas frecuentes de los activos críticos para el proceso productivo por mes. Elaboración propia, realizado con Excel.

Para la realización de la tabla anterior, se contabilizan nuevamente las horas reportadas por técnico de mantenimiento invertidas para reparación de los equipos y se representa el producto de esas horas para las tasas válidas de costo y el producto de la agrupación de la cantidad de piezas utilizadas por el costo unitario de piezas, segmentado para las órdenes de trabajo de tipo correctivo, únicamente generadas bajo los siete códigos de falla principales encontrados, dando como resultado que, para el periodo analizado, se tiene que por las siete fallas más frecuentes encontradas se tiene un costo total de USD \$ 71,321.57 dividido en 8,726.21 dólares que corresponden a mano de obra y 62,595.36 dólares que corresponden a piezas utilizadas para poner en funcionamiento óptimo los equipos críticos.

5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

De acuerdo a los resultados obtenidos se muestra el análisis para la interpretación de resultados y sus implicaciones en la gestión del mantenimiento a través de los objetivos trazados en la investigación.

5.1. **Fallas principales que afectan los tiempos de funcionamiento de los activos críticos para el proceso productivo a través del análisis de fallas**

Estas fallas que afectan a los equipos críticos varían respecto a la actividad económica de cada organización, para la organización piloto utilizada para llevar a cabo la investigación se encontraron siete fallas principales, estas están relacionadas principalmente con fugas, deterioros, problemas eléctricos, desgaste y lubricación. A su vez, estas fallas comunes, afectan principalmente los sistemas principales del aerogenerador como lo son el sistema hidráulico, la multiplicadora, armarios, bloque de pitch, transformadores y junta rotativa.

Según Hernández (2021), “la presencia de diversas fallas en las multiplicadoras, provocan paradas imprevistas en los aerogeneradores y en muchos casos se hace más largo su tiempo de indisponibilidad con respecto a otros componentes” (p. 13).

Estos tiempos de indisponibilidad se deben principalmente a que, para la intervención de los activos se debe esperar una ventana de viento, es decir, un tiempo establecido de paro del aerogenerador para intervenir el equipo, ya que

la detención de un solo aerogenerador, dependiendo de su capacidad, significa pérdidas significativas para la organización.

Como indica Loza (2009), “uno de los componentes que potencialmente puede sufrir una falla debido una excesiva carga de fatiga es el aspa del rotor de un aerogenerador” (p. 15).

Este estudio soporta, porque la sexta falla más común son los problemas con las palas o aspas del aerogenerador, debido a que se tienen que aprovechar las condiciones climáticas óptimas, para el buen funcionamiento del sistema, debido a que vientos fuertes o rápidos, arriba de los 90 km/h pueden representar un riesgo para la integridad de los rotores.

5.2. Impacto de los paros no programados de activos críticos en la gestión de mantenimiento respecto al tiempo de intervención y tiempo promedio de ocurrencia

El impacto que tienen los paros no programados respecto al tiempo de intervención y ocurrencia pueden variar, dependiendo de la magnitud de la falla, los recursos humanos con los que se cuenta al momento que ocurra una falla, que se tengan las piezas o repuestos necesarios para solventar el problema y la planificación adecuada para atender las fallas más relevantes.

Como se puede observar en la tabla 12. Los tiempos de paro de un activo crítico pueden variar, sin embargo, dependiendo de la magnitud del fallo pueden llegar a presentar tiempos de paro de hasta once horas, como se dio en marzo 2023 debido a fallos en los módulos del PLC.

El mismo caso sucede cuando se habla del tiempo medio entre fallas, la frecuencia con la que ocurre una falla nos indica la salud del sistema de ejecución de mantenimiento, una falla frecuente en un equipo puede ser indicar de una mala ejecución de mantenimiento, como del deterioro de las máquinas, por lo que hay que se debe analizar y concluir cada caso de falla en los activos.

Según Rangel (2022), “el diagnóstico de fallas por daños incipientes en máquinas mecánico eléctricas, como turbinas eólicas, puede reducir los costos de reparación y mantenimiento, así como los costos asociados con el tiempo de inactividad no programado del proceso de generación de energía” (p. 11).

5.3. Impacto económico que tiene la disminución de disponibilidad de los activos críticos en la empresa respecto a el costo de mano de obra y materiales utilizados en corregir las fallas

El costo de mano de obra muestra el recurso humano invertido en dólares por la organización en restablecer la funcionalidad de los activos, sin embargo, tratándose del análisis de las órdenes ejecutadas de mantenimiento, se pueden tener diversos factores por los cuales no se contabiliza la totalidad de horas por técnico invertidas en mantenimiento correcto. Una de las causas puede ser el tiempo fuera de horario, para que no quede en registro que los operarios están trabajando más horas de las que es permitido se dejan de reportar horas en los formatos o documentos oficiales.

Otra causa probable que afecta la contabilización total de horas invertidas en mantenimiento es la falta de una tasa por hora válida, la tasa por hora hace referencia al valor monetario que tiene la hora de trabajo de un empleado específico, esto varía de acuerdo a su especialidad, experiencia y antigüedad. Dado que la recolección de información se llevó a cabo a través del *software* de

gestión de activos de la organización, si las horas reportadas para un empleado no cuentan con una tasa por hora válida o se encuentra vencida, no se reflejarán costos de mano de obra para esa orden de trabajo.

Según López (2018), “el mantenimiento correctivo es, por lo tanto, el más caro de las estrategias y los operadores esperan recurrir a él lo menos posible” (p. 31)

Debido a que el análisis se centra en las órdenes de trabajo emitidas por fallas, nos centramos en las órdenes de mantenimiento de tipo mantenimiento correctivo, este tipo de mantenimiento termina siendo el más caro en la mayoría de las organizaciones a largo plazo. Conociendo los costos que se muestran en la sección de resultados se puede contabilizar fácilmente el ahorro considerable que se tendría al implementar nuevos planes de mantenimiento al sistema de gestión de activos críticos.

CONCLUSIONES

1. Se establecieron los lineamientos para una propuesta de análisis de fallas a través de los registros de trabajo ejecutado, este proceso inicia identificando los códigos de falla que dieron origen al registro de trabajo mediante interacción de las tablas de las bases de datos asociándolas con campos clave, en la investigación, utilizando el número asociado al registro de trabajo, para rastrear la información cargada para el registro de la orden y la información de cierre de trabajo, obteniendo así las fallas frecuentes, posteriormente se realizó el análisis de costos cuantificando las horas de trabajo y los materiales utilizados, esto con el fin de simplificar la toma de decisión, orientada prevenir la reducción del tiempo de disponibilidad de los equipos/activos críticos.
2. Se identificaron las fallas principales que causan la disminución de la disponibilidad de los activos críticos para una organización de generación de energía eólica, siendo estas siete causas más frecuentes, fugas en circuitos hidráulicos, fallas en módulos del sistema, errores en lecturas de medidores, fallas en red, daños en sellos de válvulas, problemas eléctricos en junta rotativa y desgaste de rodamientos. Que aplicados de manera general se pueden agrupar en fallas por fugas, desgaste, lubricación y fallas eléctricas.
3. Se contabilizaron los tiempos de paro de los activos críticos por reparación de fallas, para los cuales muestran que para las fallas frecuentes se tiene un tiempo medio entre fallas de diez días y un tiempo promedio de paro de equipo de 1 hora, es decir, que en promedio cada diez días se presenta

una falla para un equipo crítico que representará en la mayoría de los casos una hora de paro del activo para reparación.

4. Se realizó el análisis de costos de ejecución de las órdenes de trabajo correctivas por fallas frecuentes, mostrando que, del total de gasto de mantenimiento, respecto a la mano de obra, tratar las fallas con mano de obra interna representan un 47 % del total de costo anual y el costo de materiales para reparaciones de equipos por falla representa un 36 % del total del gasto anual.

RECOMENDACIONES

1. Implementar la planificación de mantenimiento avanzada, integrando patrones de mantenimiento, rutas, planes de tareas, listas de inspección, mantenimiento diferido y no conformidades. Fomentar la capacitación constante del personal y establecer la ejecución de las órdenes de trabajo según índice de prioridad para disminuir la sobrecarga del personal y aumentar la disponibilidad de los activos críticos.
2. Implementar un sistema de codificación estandarizado para documentar las fallas, que permita documentar tipos de fallos más específicos, de tal manera que el operador sepa con mayor certeza la causa que dio origen a la falla y permita corregirla de manera más rápida, reduciendo de manera considerable los tiempos de paros no programados en los activos críticos.
3. Desarrollar planes de inspecciones precisos, basándose en históricos de frecuencia y ocurrencia, para los activos críticos, que contemplen los aspectos, condiciones y observaciones necesarias para asegurar que las inspecciones brinden información relevante para tomar acciones preventivas y evitar que las fallas ocurran, ver apéndice 1.
4. Realizar un análisis mensual del reporte de costos y la eficiencia de los recursos de mantenimiento, realizando un comparativo entre las horas estimadas por actividad, las horas reales invertidas y su costo, así como establecer políticas de inventarios, como devoluciones de materiales no utilizados, listas de materiales para los programas de mantenimiento de

prevención que ayuden disminuir lenta rotación en el inventario y a realizar pedidos a tiempo de material.

REFERENCIAS

- Aguilar, J., Torres, R. y Magaña, D. (2010). Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC) para la planeación del mantenimiento empleando criterios de riesgo y confiabilidad. *Tecnología, Ciencia, Educación*, 25(1), 15-26. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/482/48215094003.pdf>
- Aguilar, O. y Delatorre, R. (2014). *Cómo las empresas latinoamericanas se convierten en líderes globales*. Deloitte.
- Arata, A. (2009). *Ingeniería y gestión de la confiabilidad operacional en plantas industriales*. RIL.
- Arques, J. (2009). *Ingeniería y gestión del mantenimiento en el sector ferroviario*. Díaz de Santos.
- Cuatrecasas, L. (2012). *Gestión del mantenimiento de los equipos productivos*. Díaz de Santos.
- Del Val, J. (2016). Industria 4.0: la transformación digital de la industria. *Conferencia de directores y Decanos de Ingeniería Informática*, 10(1), 8-9. <http://coddii.org/wp-content/uploads/2016/10/Informe-CODDII-Industria-4.0.pdf>
- Di Fiore, M., & Terlato, A. N. (2021). *La revolución industrial y sus impactos directos e indirectos en la sociedad y en las empresas (No. 816)*. Serie Documentos de Trabajo

- Galgano, A. (2004). *Las tres revoluciones Caza del desperdicio: doblar la productividad con la "lean production"*. Diaz de Santos.
- García, O. (2012). *Gestión moderna del mantenimiento industrial*. Ediciones de la U.
- García, S. (08 de septiembre de 2016). *Los principales objetivos del mantenimiento*. Obtenido de *Manufactura*. Manufactura Latam. <https://www.manufactura-latam.com/es/blog/los-principales-objetivos-del-mantenimiento>
- García, S. (2010). *La contratación del mantenimiento industrial*. Diaz de Santos.
- Gómez, F. (1998). *Tecnología del mantenimiento industrial*. Universidad de Murcia.
- González, F. (2005). *Teoría y práctica del mantenimiento industrial avanzado*. Fundación CONFEMETAL.
- Gutiérrez, E., Agüero, M., y Calixto, I. (2007). *Análisis de Criticidad Integral de Activos*. Fundación Bigott.
- Hagel, J., Brown, J., Kulasooriya, D., Giffi, C., y Chen, M. (01 de junio de 2015). *El futuro de la manufactura: Fabricando cosas en un mundo cambiante*. Deloitte. <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/mx/Documents/manufacturing/Futuro-Manufactura-Espanol.pdf>

- Heizer, J., y Render, B. (2003). *Principios de administración de operaciones*. Pearson.
- Hernández, J. (2021). *Estudio del lubricante en multiplicadoras pertenecientes a los aerogeneradores G52-850 del parque eólico gibara 1, Holguín, Cuba*. [Trabajo de diplomado, Universidad de Holguín de Cuba]. Archivo digital. <https://repositorio.uho.edu.cu/xmlui/bitstream/handle/uho/9285/José%20Adrién%20Hernández%20Córdova.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Horngren, C., Datar, S. & Foster, G. (2007). *Contabilidad de costos decimosegunda edición*. Pearson Prentice Hall.
- López, B. (9 de marzo de 2017). *Análisis del Modo y Efecto de Fallas*. Ingeniería industrial online. <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/lean-manufacturing/analisis-del-modo-y-efecto-de-fallas-amef/>.
- López, F. (2018). *Análisis de vibraciones para la detección y diagnóstico de fallas en el generador de inducción doblemente alimentado (GIDA) para el diseño de aerogeneradores de velocidad variable*. [Tesis de maestría, Universidad del ISTMO de México]. Archivo digital. http://www.unistmo.edu.mx/bibliotecas/tesis_posgrado/2016-2018/Tesis_MCEE_Fredy_López.pdf
- Loza, B. (2009). *Diseño e implementación de método simplificado para estimar el tiempo de vida de aspas de aerogenerador con dos tipos de regulación (stall y pitch) a través de simulaciones estocásticas*. [Tesis de Maestría, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey de México]. Archivo digital.

<https://repositorio.tec.mx/bitstream/handle/11285/633076/Tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Mancuzo, G. (3 de septiembre de 2020). *Mantenimiento periódico Riesgos y ventajas*. Comparasoftware.

<https://blog.comparasoftware.com/mantenimiento-periodico/#Que-es-mantenimiento-periodico>

Montilla, C. (2016). *Fundamentos de mantenimiento industrial*. Universidad tecnológica de Pereira.

Olarte, W., Botero, M., y Cañon, B. (2010). *Importancia del mantenimiento industrial dentro de los procesos de producción*. Universidad tecnológica de Pereira.

Parra, C., y Crespo, A. (2012). *Ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicada en la gestión de activos*. Ingeman.

Pérez, F. (2021). *Conceptos generales en la gestión del mantenimiento industrial*. USTA.

Pesántez, A., y Sarzosa, R. (2009). *Elaboración de un plan de mantenimiento predictivo y preventivo en función de la criticidad de los equipos del proceso productivo de una empresa empaquera de camarón*. [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica del Litoral de Ecuador]. Archivo digital.

<http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/13353/4/TESIS%20COMPLETA%20%28FINAL%29.pdf>

- Plaza, A. (2009). *Apuntes teóricos y ejercicios de aplicación de gestión del mantenimiento industrial -integración con calidad y riesgos laborales-*. Lulu.
- Portillo, M., Pérez, V. y de la Riva, J. (2022). Metodología de administración para el mantenimiento preventivo como base de la confiabilidad de las máquinas. *RIDE Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 12(24), 1-17.
<https://www.ride.org.mx/index.php/RIDE/article/view/1218/3577>
- Rangel, A. (2022). *Análisis tiempo-frecuencia de vibraciones y redes neuronales convolucionales para detectar daño en aerogeneradores de baja potencia*. [Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Querétaro de México]. Archivo digital. <https://ri-ng.uaq.mx/bitstream/123456789/3672/1/RI006696.pdf>
- Romeva, C. (2010). *Herramientas para el diseño concurrente*. UPC.
- Sacristán, F. (2003). *Técnicas de resolución de problemas, Criterios a seguir en la producción y el mantenimiento*. FC editorial.
- Short, T. (15 de noviembre de 2018). *Work Order Management best practices: Add Failure codes to optimize repairs*. [Mejores prácticas de gestión de órdenes de trabajo: agregue códigos de falla para optimizar las reparaciones]. Software advice. <https://www.softwareadvice.com/resources/add-failure-codes-to-work-orders/>
- Solé, A. (1991). *Fiabilidad y seguridad de procesos industriales*. Barcelona. FOINSA.

Souris, J. (1992). *El mantenimiento, fuente de beneficios*. Barcelona. Diaz de Santos, S.A.

Suárez, J. (2018). *Desarrollo de un sistema de gestión de mantenimiento para reducir la presencia sistemática de fallas y paras imprevistas en equipos y maquinarias en la empresa Productos Avon Ecuador*. [Tesis de maestría, Escuela Politécnica Nacional de Quito de Ecuador]. Archivo digital. <https://1library.co/document/q2n7v42q-desarrollo-gestion-mantenimiento-presencia-sistemica-imprevistas-maquinarias-productos.html>

Tandalla, D. (2017). *Análisis de criticidad de equipos para el mejoramiento del sistema de gestión del mantenimiento en la empresa de aluminios CEDAL*. [Tesis de maestría, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo de Ecuador]. Archivo digital. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/6574/1/20T00833.pdf>

Ugalde, J. (1979). *Programación de operaciones*. Universidad estatal a distancia.

Vaughn, R. (2014). *Introducción a la ingeniería industrial*. REVERTÉ, S.A.

APÉNDICES

Apéndice 1.

Propuesta de programación de inspecciones

Programación de MP			
Código	Descripción de la programación	Organización	
Generalidades:			
Tipo			
Programación			
Frecuencia de realización	Cada	Escala de tiempo	
Medidor si utiliza		unidad del medidor	
Actividades			
Descripción		Horas de la actividad	
Ocupación del técnico		Duración estimada total	
Personas necesarias		Necesita lista de materiales	Si/No
		Presenta lista de comprobación	Si/No
Equipo			
Código del equipo		Descripción del equipo	
Departamento del equipo			
Ubicación			
Utilizará Ruta			
Fecha de inicio del plan			

Continuación del apéndice 1.

Instrucciones de la planificación			
<input type="text"/>			
Lista de inspección			
Aspectos	Condiciones	Observaciones	Métodos
<input type="text"/>			

Nota. Formato de ingreso de plan de mantenimiento preventivo. Elaboración propia.